

熊本県工業技術センター

研 究 報 告

第29号

平成 2 年度

REPORTS OF
KUMAMOTO INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

No. 29

1991

平成 3 年 9 月

熊本県工業技術センター

〒862 熊本市東町 3-11

Published by

Kumamoto Industrial Research Institute

3-11, Higashi-machi, Kumamoto-shi 862 Japan

熊本県工業技術センター研究報告

第 29 号 (平成 2 年度) 平成 3 年 9 月

目 次

《研究報告》

複合材料の設計と開発に関する研究

— 複合材料開発に関する接着剤の増量条件 —

..... 中村 哲男・大迫 靖雄・浅野 明秀 (1)

熊本県工業技術センターにおけるコンピュータネットワークの管理運用

..... 河北 隆生 (7)

Fe-Ni-Co 3元合金めっきの開発

..... 木村 幹男・上村 誠 (18)

アルミナ、ジルコニアセラミックスの穴あけ及び溝加工特性

— 硬脆材料の超音波加工技術に関する研究 —

..... 高橋 孝誠・石水 泰夫・八戸 和男 (30)

金型加工のためのワイヤ放電加工条件最適化の技術

..... 富重 定三・松田 次郎 (43)

接地電位および接地電流の波形観測と周波数解析

— 電磁ノイズ対策技術に関する研究 —

..... 上田 直行 (49)

回路シミュレーションを用いたアナログ PCB の設計と解析

— アナログ PCB シミュレーションシステムの開発 —

..... 石松 賢治 (60)

改質炭酸カルシウムのナイロンへの充てん効果

— 石灰石の高度利用研究 (第5報) —

..... 永山 賛平・内野義登志・末永 知子 (69)

軽質炭酸カルシウムの合成

— 石灰石の高度利用研究 (第6報) —

..... 内野義登志・末永 知子・坂田 一成 (75)

ジルコニア又はアルミナ-ニッケル系傾斜機能材料の作製

— セラミックス-金属複合材料に関する研究 —

..... 本田悠紀雄・納寄 克也・坂田 一成 (79)

《調査研究》

農業分野における開発要望課題調査—ハイテク農業技術の開発研究—

..... 井戸 泰男・石氷 泰夫・出納 正道・坂本 博宣
..... 河野 敏謙・東家 節生・坂井 定義・奥田 剛士 (88)

《技術資料》

オブジェクト指向による置き換え作業のプログラミング

..... 城戸 浩一 (98)

REPORT
OF
KUMAMOTO INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE
No. 29 (1990.4~1991.3) Sep. 1991

CONTENTS

《Report》

Studies on the design and the development of building Composite materials

— On the extender condition of adhesive on building Composite materials —

Tetsuo NAKAMURA Yasuo OHSAKO and Akihide ASANO (1)

Administration of Computer Network System in Kumamoto Industrial Research Institute

Takao KAWAKITA (7)

Development on Ternary Alloys of Iron-Nickel-Cobalt

Mikio KIMURA and Makoto UEMURA (18)

Drilling and Grooving Characteristics of Alumina and Zirconia Ceramics

— Study on Ultrasonic Machining of Brittle Materials —

Kōsei TAKAHASI Yasuo ISIGŌRI and Kazuo YAE (30)

Approach of Optimum Working Condition on Wire-EDM

for Manufacturing Metal Dies

Sadami TOMISIGE and Jirō MATUDA (43)

Waveform Observation and Frequency Analysis of Grounding Electric Potential and Grounding Current — Studies on Countermeasure Technology of Electro Magnetic Noise — Naoyuki UEDA	(49)
Design and Analysis of A Analog Printed Circuit Board with Circuit Simulation — Development of Analog Printed Circuit Board Simulation System — Kenji ISHIMATU	(60)
Effect on Filling the Nylon with Modified Calcium Carbonate — Studies on Advanced Utilization on Limestone(5) — Sanpei NAGAYAMA Yoshitoshi UCHINO and Tomoko SUENAGA	(69)
Synthesis of Light Calcium Carbonate — Studies on advaced Utilization of Limestone(6) — Yoshitoshi UCHINO Tomoko SUENAGA nad Issei SAKATA	(75)
Preparation of ZrO_2 or Al_2O_3 -Ni Functionally Gradient Material — Studies on Ceramics-Metal Composites — Yukio HONDA Katsuya NOUZAKI and Issei SAKATA	(79)
《Investigation & Research》 Investigation of Subjects Demanded to Develop in Various Department of Agriculture — Studies on Applying Industrial Technology to Agricultural Field — Yasuo IDO Yasuo ISIGÔRI Masamiti SUITO Hironobu SAKAMOTO Tosinori KAWANO Setuo TOYA Yasuyosi SAKAI and Takesi OKUDA	(88)
《Technical Report》 Programmng of Pick and Place Task by Object-Orientation Koichi KIDO	(98)

複合材料の設計と開発に関する研究

— 複合材料開発に関する接着剤の増量条件 —

中村 哲男*・大迫 靖雄**・浅野 明秀**

Studies on the design and the development of building Composite materials
— On the extender condition of adhesive on building Composite materials —

Tetsuo NAKAMURA* Yasuo OHSAKO** and Akihide ASANO**

本研究では、木材の特性を生かし、その欠点を改善した製品の開発を目指して、木材をベースとして、複合材料製造の際、接着剤に増量剤もしくは充填材として、天草陶石を使用することの可能性について検討した。そのため、陶石粒子の粒度や接着剤への陶石粒子の増量条件などの異なる状態で製造された複合材料の強度特性と接着状況について検討した。

本研究で求められた結果として、(1)天草陶石の粉末粒度と圧縮せん断接着強度：常態試験の場合、#325～400のものがいずれの増量率でも高い強度を示す。これに対して、耐温水試験の場合、#200～250の値が高いことを示している。しかしながら、この場合、いずれも顕著な差があるとはいえない。(2)陶石の増量割合と圧縮せん断接着強度：常態試験の場合、いずれの場合も、増量割合の高い場合が高い強度を示した。また、増量なしのコントロール用試験体より高い強度値を示しており、陶石を混入することによって、むしろ強度値が上昇する傾向が示された。さらに、耐温水試験によっても陶石の混入による顕著な強度の低下はみられないなど、いくつかの成果を得ることができた。

1. 緒 言

熊本県には、木材をはじめとした多くの資源が存在している。しかしながら、これらの資源の有効な活用については今後検討する必要があるものが多い。特に、戦後、人工造林（大部分がスギ、ヒノキに限られている）された森林からは20年後には、現在の3倍の量の木材の生産量が予想されている。

当工業技術センターおよび熊本大学において、この大量に生産される木材の有効利用を考えるた

め、その付加価値をあげた製品の開発を目的とした一連の研究を行っている。

木材をベースとした新製品を考えると、まず最初に木質材料のうち、木材の複合化が考えられる。本研究でも、木材をベースとして、い草、陶石など他の熊本県産の資源を組み合わせた複合材料の開発を試みている。また、これらの複合材料については、資源の需要拡大の意味から、更に新しい機能を有する建築材料としての役割を持たすことを考えている。

特に、熊本県産の資源としては、木材のほかに、い草や天草陶石などに注目している。木材は、いうまでもなく、建築材料として多く好ましい特性を有している。これらの特性を更に強調するため

*情報デザイン部

**熊本大学教育学部

に、木材の特性にプラスした機能を持った新しい複合材料の開発を試みる。

本研究では、この手始めとして、木材と天草陶石との組合せによる複合材料について検討した。具体的には、天草陶石を木材用の接着剤の増量剤、または充填材として使用した木材の複合化の可能性を検討した。そのため、陶石粒子の粒度や接着剤への陶石粒子の増量条件などの異なる常態で製造された複合材料の強度特性と接着状況について述べる。

ところで、天草陶石は天草地域の資源として注目され、従来から砥石の原料や磁器材料としても多く使用されている。しかしながら、現存する資源状態から見ると、利用されている量はごく少量であり、多くの陶石の利用が今後の課題となっている。ただ、これらの陶石には、多くの鉄分が含まれている。さらに現在までに、当工業技術センター研究¹⁾によって、天草陶石の粒子に対する無電解めっきが可能となっている。したがって、陶石にこれらの処理を行うことによって、上記木質複合材料に電磁波シールド特性を持たすことが予測される。

木質材料を建築材料として使用するとき、電磁波に対する性質が問題となっている。特に、最近では、コンピューターをはじめとしたICを使用したOA機器の発達によって、建築材料の電磁波シールド特性が必要となってきている。このため、最近では、木質材料についても、電磁波シールド特性を持った建築材料の開発が試みられてきている²⁾。したがって、本研究で検討しているような木質材料の開発は、木材の欠点を補った機能を有する建築材料として多くの利用方法が考えられる。

2. 実験および実験方法

2.1 実験条件

1) 試験片状態：増量剤として、天草陶石の粉末を用いたレゾルシノール樹脂接着剤を用いて木材を接着した。この場合、天草陶石の粉末の粒度は、#200~250、325~400、400~の3段階とし、増量剤を重量比で0、5、10%の3段階とした。なお、本研究で使用した木材は、気乾状態（試験実施時の含水率：10~11~13%）のミズメ（容積密

度：0.70~0.72~0.75g/cm³、長さ：750~900mm、幅：140~160mm）のまさ目板とした。

本実験に供した試験片の製作状態は表1に示す。

2) 接着条件：常温硬化型のレゾルシノール樹脂接着剤を用いて、圧縮力：117.72N/cm²、圧縮時間：24時間、養生時間：1週間、接着剤の塗布量：130g/m²の条件で接着を行った。

2.2 実験方法

1) 接着強度試験：JIS K 6853に基づいた被接着剤の圧縮せん断試験を行った。せん断試験には、島津製作所(株)製のオートグラフAG-5000Aを使用し、981N/minの荷重速度で試験を行った。なお、試験は、各々の試験片条件について、(1)常態試験および(2)耐温水試験を行った。また、試験は各条件ごとに20個の試験体について行い、接着強度の平均値、変動係数などを求めた。

2) 木部破断率（木破率）の測定：強度試験によって破壊された試験片について、木片の残留状態をノギスを用いて寸法を測定し、面積比で求めた。

3. 結果および考察

実験の結果、常態および耐温水試験による接着強度並びに接着層の木部破断率（木破率）および強度低下率について、以下のことが判明した。

3.1 天草陶石の粉末粒度と圧縮せん断接着強さ

常態試験によって求めた平均圧縮せん断接着強さおよび変動係数の結果を表2に示す。まず、天

表1 複合材料の接着剤の増量状況

材料区分	陶石の粉末粒度 (#)	増量率 (%)
A	200~250	5
B	200~250	10
C	325~400	5
D	325~400	10
E	400~	5
F	400~	10
G	-	

*接着剤：レゾルシノール樹脂接着剤、主剤50.0g 硬化剤7.5gとして、粉末混入重量は3g（5%）6g（10%）とした。

表2 常態試験における接着強度

材料区分	接着強度 (N/cm ²)	変動係数
A	1265	14
B	1364	17
C	1275	20
D	1432	17
E	1236	18
F	1275	24
G	1187	13

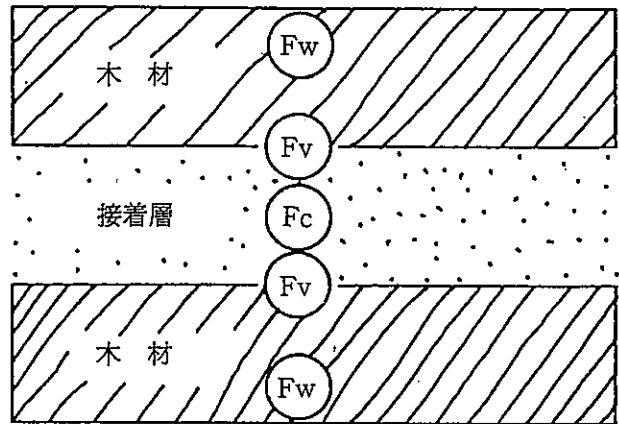


図1 木材の接着機構

草陶石の粉末粒度と接着強さの関係をみると、増量率が同一条件のものでは、いずれのものについても#320~400のものが高い圧縮せん断接着強さを示している。ただ、5%増量率のものについてみると、同一増量率の中では、高い値を示すが、変動係数が20を示しており、材料区分中2番目に高い変動係数を示し、接着強さにばらつきが多いことを示している。これに対して、10%増量率のもの、の圧縮せん断接着強さは、1432N/cm²を示し、全材料区分中最も高い値を示し、変動係数も17と比較的低い値を示しており、ばらつきも少ない傾向が示されている。この場合、天草陶石の粒度との関係がみられ、圧縮せん断接着強さは、以下#200~250、#400~の順となっており、増量剤なしのコントロール用試験片の値が最も低いことを示している。このことは、増量剤の充てん効果が現われたことを示している。鋳物質を増量剤に混入することによる充てん剤の効果については、既に明らかとなっており³⁾、本結果は天草陶石の充てん効果を示したものと見える。

ただ、変動係数は、コントロール用試験片が最も低い値を示しており、粒度の細かい#400~のものを使用したものが最も高い値を示している。このことは、コントロール用試験片が強度のばらつきが少なく、陶石の混入によりしかもその粒度が小さくなるにつれて、ばらつきが大きくなる傾向を示したといえる。

なお、レゾルシノール樹脂接着剤による圧縮せん断接着強さは、菅野ら⁴⁾によって示された図1によると、マカンバ約1,800N/cm²、ミズナラ約1,500N/cm²が示されており、ここで示されたコントロール材の値より高い値となっている。これ

表3 耐温水試験における接着強度

材料区分	接着強度 (N/cm ²)	変動係数
A	1099	9
B	1001	10
C	961	12
D	981	10
E	952	8
F	912	10
G	991	6

らについては、接着条件等更に検討する必要がある。

これに対して、表3に示した耐温水試験については、いずれの増量率のものについても#200~250の天草陶石を増量剤として使用したものの値が高いことを示している。しかしながら、耐温水試験の場合の値の幅は、常態試験と比較して低い値が示されている。また、変動係数値も低く、いずれの場合も顕著な差があるとはいえない。

3.2 天草陶石の増量割合と圧縮せん断接着強さ

天草陶石の増量率と圧縮せん断接着強さの関係を表2でみると、常態試験の場合、同一の粒度の場合、AよりB、CよりD、EよりFの圧縮せん断接着強さが高い値を示し、増量率5%よりも10%と増量割合の高いものが高い強度を示している。ただ、変動係数については増量率の差による傾向が明らかでない。これに対して、表3の耐温水試験結果をみると、常態試験のような、増量率による一定の傾向がみられず、陶石の混入による顕著

表4 常態および耐温水試験における接着強度、強度低下率

材料区分	接着強度 (N/cm ²)		強度低下率
	常態試験	耐温水試験	
A	1265	1099	0.13
B	1364	1001	0.19
C	1275	961	0.25
D	1432	981	0.32
E	1236	952	0.23
F	1275	912	0.28
G	1187	991	0.17

強度低下率 = (常態強度 - 耐温水強度) / 常態強度

な強度の低下や変動係数におけるばらつきについても、その差は観察されない。

次に常態および耐温水試験における接着強度および強度低下率の傾向を明らかにするため、表4に常態と耐温水試験を比較した結果を示す。

本結果をみると、圧縮せん断接着強さの高い値を示した粒度#200~250を増量剤としたC、Dの接着強さの低下率が高い傾向が示され、常態試験での強度値が最も低いコントロール材Gの低下率が最も低いことを示している。ただ、同一粒度のものについてみると、いずれも増量率が高いものの低下率が高い値を示している。しかしながら、その差は顕著ではない。

3.3 木部破断率 (木破率)

前項までに、圧縮せん断接着強さと天草陶石の増量割合、粒度の関係について述べた。しかしながら、常態、耐温水試験では、その傾向が若干異なっている。そこでこれらの点について検討するために、各々の常態での接着状況について検討する必要がある。

通常、接着接合の破壊は接着に関与する系の最も弱い箇所が発生する。これに関しては図1のFive Links Theoryを引用する。

本図は、接着強度試験において破壊が図中の○印の5箇所のいずれかを起点として発生することを示している。一般に接着力として問題とされるのは、接着剤-接着体の界面(Fv)と接着剤中(Fc)で発生する破壊である。前者を接着破壊あるいは界面破壊といい、後者を凝集破壊、また、両者の

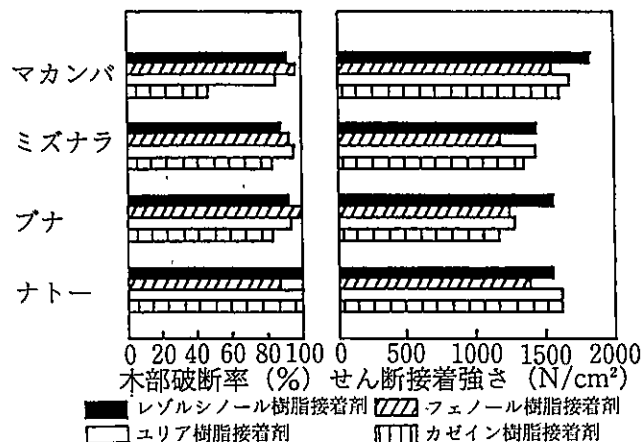


図2 各種接着剤による内外樹種の接着

混在した破壊状態を混合破壊という。また、被接着体(Fw)で破壊した場合、通常は接着剤の接着力は問題なしと判断するが、接合部の設計が妥当でない場合もある。

材料破壊(接着体破壊)の次に問題が少ないのは凝集破壊(接着剤の破壊)である。凝集破壊した接着強さで実用上問題がある場合は、接着剤の凝集力を上げればよく、それは比較的簡単に対応できる。

なお、図2菅野らによる各種接着剤による内外樹種の圧縮接着せん断強さおよび木破率をみると凝集力の強さと関係する傾向がみられる。すなわち、凝集力の強さは以下のように表される。

カゼイン樹脂接着剤 < ユリア樹脂接着剤 < フェノール樹脂接着剤 < レゾルシノール樹脂接着剤

これらのことは、木破率がカゼイン樹脂接着剤、ユリア樹脂接着剤、フェノール樹脂接着剤、レゾルシノール樹脂接着剤の順に圧縮接着せん断強さの値が高くなることによっても理解される。

これらの点を前提として本研究における接着状態をみるため、各々の状態における木破率について検討を加える。

まず、状態および耐温水試験における木破率、強度低下率を表5に示す。

本表から、常態試験の場合、コントロール用試験体では平均木破率1%、最大木破率で9%、最大値を示すA、Bにおいて平均木破率はそれぞれ34%、30%とやや高い値を示しているものの、いずれの条件下でも木破率は低く、粒度、増量率によ

表5 常態および耐温水試験における木破率、強度低下率

材料区分	木破率 (%)						強度低下率
	常態試験			耐温水試験			
	max.	ave.	min.	max.	ave.	min.	
A	100	34	0	100	86	0	0.13
B	100	30	0	100	91	33	0.19
C	12	2	0	100	90	8	0.25
D	100	14	0	100	98	80	0.32
E	72	6	0	100	92	13	0.23
F	100	16	0	100	89	32	0.28
G	9	1	0	100	97	62	0.17

強度低下率 = (常態強度 - 耐温水強度) / 常態強度

る差も小さい。しかしながら、耐温水試験の場合の木破率は格段に向上し、最低でも平均86%を示している。

木破率が低いことは、図2に示すFcでの凝集破壊すなわち接着層における破壊が発生したことを示している。したがって、木破率の低い常態試験においては、接着層の強度が示されているといえる。これに対して、木破率が高いことは、Fwすなわち被接着材であるミズメ材の強度を示しているといえる。つまり、耐温水試験の場合、湿潤常態でのミズメ材の強度を示しているといえる。ミズメ材のせん断強度は、981~1,472~1,864N/cm²であり⁹⁾、かなりばらつくが、平均は1,472N/cm²を示す。したがって、常態試験の場合、1,187N/cm²~1,432N/cm²のせん断強さは、ミズメ乾燥材の強度より低い値での破壊を示している。さらに、木破率が小さいことから図2における(Fc)での破壊、つまり、接着層での破壊が優先したことを現象的にも示しているといえよう。これに対して、温水処理を行った場合、試験片は湿潤常態にあり、強度が低下することが推定され、そのため試験片(Fw)での破壊が生じ、木破率が上昇したことを示しているといえよう。すなわち、接着層での破壊が生じる以前に、木部での破壊が生じたことを示しており、接着層の強度はこれより高いといえる。したがって、温水処理による接着層(Fc)の強度の低下は極めて小さいことが推定される。

小西によると、レゾルシノール樹脂接着材を用

いてタモを接着した場合の煮沸あるいは煮沸繰り返しによる圧縮せん断接着強さの平均値の低下割合は、煮沸試験によって63%、煮沸繰り返し試験によって65%を示している⁹⁾。

本研究の場合、温水処理したもので、煮沸処理とは処理状況が異なるが、強度低下は最高でも28%であり、その低下率は低いといえる。

ただ、木破率についていえば、図1によると、いずれの樹種においても80%以上の木破率を示しており、本研究の常態試験における木破率が低い点については更に検討する必要がある。

4. 要 約

本研究では、天草陶石を木材用の接着材の増量剤または、充填剤として使用した木材の複合化の可能性について検討した。

その結果を要約すると次のとおりである。

- 1) 天草陶石の粉末粒度と接着強度：常態試験の場合、#325~400のものがいずれの増量率でも高い値を示す。これに対して、耐温水試験の場合、#200~250の値が高くなったが、いずれの場合も顕著な差があるとはいえない。
- 2) 陶石の増量割合と接着強度：常態試験の場合、いずれの場合も、増量割合の高い場合が高い強度を示した。また、耐温水試験によっても、陶石の混入による顕著な強度の低下はみられない。
- 3) 木破率：常態試験ではいずれの条件下でも木破率は低いことが示された。この点については、接着条件等更に検討が必要と思われる。しかし、耐温水試験の場合、いずれも80%以上の高い木破率を示した。このことから、耐温水試験の強さは、被接着材であるミズメ材の湿潤状態でのせん断強度と関係するものと考えられた。

本試験の結果から、天草陶石の粉末を接着剤に混入した場合でも、強度の低下は顕著でなく、むしろ、強度的には上昇の傾向がみられ、このような条件で製作された複合材料の製品化が可能であることが示されたといえる。今後は、更に陶石の混合割合を高くした場合について検討すると共に、その機能性について検討していく予定である。

参 考 文 献

- 1) 永田正典、末永知子、永山賛平、本田悠紀雄“セラミックス基板への無電解ニッケルめっき「電気特性を有する熱伝導性セラミックス開発及び異種材料との複合化に関する研究」、昭和63年度技術開発研究費補助事業成果普及講習会テキスト、中小企業庁(1990)
- 2) 例えば、長沢ら、第40回日本木材学会大会研究発表要旨集、3 (1990)
- 3) 例えば、本山卓彦他：接着（技術シリーズ）、朝倉書店、1981、PP. 43～44
- 4) 小西信、木材の接着、日本木材加工技術協会、1982、PP. 126
- 5) 木材工業編集委員会編、日本の木材、日本木材加工技術協会、1966
- 6) 小西信：木材工業、Vol. 29, 96 (1970)

熊本県工業技術センターにおける コンピュータネットワークの管理運用

河北 隆生*

Administration of Computer Network System
in Kumamoto Industrial Research Institute

Takao KAWAKITA*

[概要]

本報では、まず異機種、マルチベンダーのコンピュータや機器が接続されるネットワークの一元管理において、工業技術センターで発生した問題とその解決方法について報告する。次に、分散ファイルシステムによるファイル共有化では、使いやすい環境設定とファイル類の保護のための管理方法について述べる。

ネットワークの一元管理では、管理用のプログラム (Makefile) の修正、追加と新規作成を行った。その結果、共有できる管理情報が増えるため、より多くの情報の整合性が取れると共に管理の効率化が図れた。

また、分散ファイルシステムによるファイルの共有化では、各計算機のディレクトリ構造の統一を行うと共に NFS サーバにおいて公開するファイルシステムの保護を行った。その結果、同一利用者が、どの計算機を使用しても、同じ環境で利用できるようになり、また、不当なアクセスからファイル類を保護した。

1. はじめに

近年、コンピュータ資源の有効利用や通信手段として利用するため、各組織においてコンピュータネットワークが普及してきた。それに伴ない、ネットワークが、日常業務に果たす役割は大きなものとなっている。

工業技術センター内に構築したネットワークは、主に unix オペレーティングシステムと TCP/IP プロトコルを使用し、リモートログイン、ファイルの共有化、周辺機器の共有化、メールやニュー

スなどの情報交換の手段などに利用している。

ネットワークを正常に運用するためには、ネットワークの一元管理が必要である。しかし、同じ管理システムであってもメーカーによって仕様に若干の相違がある。また、異機種、マルチベンダー (異メーカー) のコンピュータや機器を接続したネットワークでは、1つの管理システムだけでは管理はできない。管理システムの仕様の相違を解決することは、共有できる情報の種類が増えることになり、より多くの情報の整合性が取れると共に管理の効率化を図ることができる。また、複数の管理システムが共存している場合、1つの管理システムの情報から別の管理システムの情報を

*情報デザイン部

自動生成することで、ネットワーク全体の情報の整合性と管理の効率化が図られる。

分散ファイルシステムによるファイルの共有化では、どの計算機を使用しても利用者にとって同一環境となることが望ましい。また、他の利用者や計算機から不当なファイルアクセスなどを防ぐためにファイル類の保護を行う必要がある。

本報では、まず当センターのネットワーク構成の概要について述べ、異機種、マルチベンダーのコンピュータなどが接続されたネットワークの管理において発生した問題と解決方法および2つの管理システムを使用した場合の効率的な管理、分散ファイルシステムの管理方法について報告する。

2. ネットワーク構成の概要

当センターのネットワーク構成を図1に示す。

建物内のネットワークは、同軸ケーブルを通信媒体としたイーサネットで構築している。コンピュータ室では10BASE5ケーブル、各部屋へはコンピュータ室からマルチポートリピータを経由して10BASE2ケーブルで配線している。これらのケーブルには、DEC社、東芝社、HP社のワークステーション、DEC社のミニコン、パソコンやターミ

ナルサーバなどが接続されている。この図では、パソコンは省略した。

各建物のネットワークは、光トランシーバを経由して光ファイバケーブルによる転送速度10 Mbpsのアクティブ・リング型ネットワークで接続している。また、不用な通信パケットを他の建物のネットワークに流さないため、建物間にブリッジを設置している。

通信プロトコルは、DECnetとTCP/IPが共存している。これらのプロトコルが、相互に通信できるように、ゲートウェイ機能を持ったワークステーション (DS5000/S) を設置している。

センターでは、TCP/IPプロトコルでのインターネットアドレスは、クラスCのネットワークアドレスを使用している。なお、このインターネットアドレスは、SRINIC (SRI Network Information Center) から正式に取得していない。

3. ネットワーク管理

ネットワークに接続されるコンピュータおよび機器、利用者などの情報(データベースファイル)は、サーバの計算機で一元的に管理した。これらの情報をネットワークに接続される全ての計算機

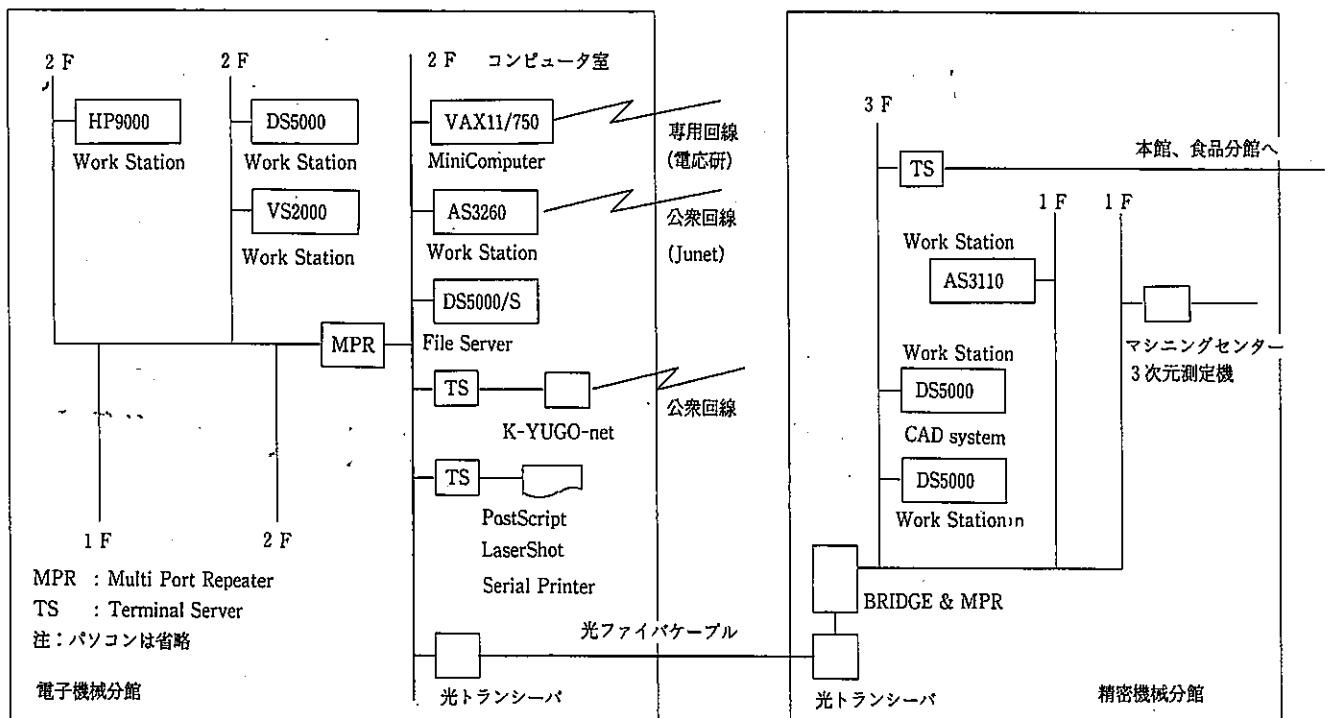


図1 工業技術センターのネットワーク構成図

で共有することは、管理情報の整合性と管理の効率化が図れる。

管理システムは、NIS²⁾(Network Information Service、以前はYP (Yellow Page)と呼ばれた)とBIND²⁾(Berkeley Internet Name Domain)を使用した。2つの管理システムを使用したのは、パソコンやターミナルサーバなどは、NISの機能を持たないが、BINDの機能を持っているためである。

ここでは、異機種、マルチベンダー環境におけるNISでの管理の問題と解決方法、BINDでの管理の効率化について述べる。

3.1 NISによる管理の問題と解決方法

NISで管理している情報は、次のとおりである。

```
/etc/passwd
/etc/group
/etc/hosts
/etc/aliases
/etc/ethers
/etc/services
/etc/networks
/etc/protocols
/etc/rpc
/etc/netgroup
```

これらのデータベースは、マスターサーバ1台(DS5000/S (OSはULTRIX4.1))とスレーブサーバ2台(AS3260 (OSはSunOS3.5)、DS5000 (OSはULTRIX4.1))で管理している。スレーブサーバはマスターサーバがシステムダウンを起こしたとき、NISサーバを切り替えるためのものである。また、建物間を接続している光トランシーバやブリッジがダウンしたとき、NISサーバへアクセスできなくなることを防ぐため、各建物に1台ずつスレーブサーバを設置した。

NISの仕様は、メーカーにより若干の相違がある。センターでは、DEC、東芝(SunのOEM)、HPとマルチベンダーのワークステーションが接続されており、これらのメーカー間で、サポートされるデータベースの種類やNISデータベースのフォーマットに相違がある。そこでこれらを解決するため、NISデータベースを作成するMa-

kefileの追加、変更を行った。

3.1.1 /etc/ethers データベースの追加

UNIXは、/etc/ethersをサポートしている。このファイルは、ハードウェアアドレスからホスト名を探す逆アドレス解決プロトコル³⁾(Reverse Address Resolution Protocol (RARP))の実行時に使用される情報を記述している。この情報は、NISで共有している。

AS3260 (SunOS3.5)では、NISのデータベースを作成するMakefileの中に、/etc/ethersデータベースの生成をサポートしているが、NISマスターサーバに使用しているDS5000/S (ULTRIX4.1)ではサポートしていない。そのため、unixのコマンドであるypxfrを使用しスレーブサーバがマスターサーバから/etc/ethersデータベースのコピーを要求する時、データベースがないとエラーが表示される。

そこで、このデータベースを生成する機能をMakefileに追加することで解決している。図2に/etc/ethersのNISデータベースを作成するMakefileを示す。

普通、/etc/ethersの情報は、ディスクレスワークステーションがネットワークに接続されているときに必要であるが、将来導入されることを見越して追加したものである。

3.1.2 /etc/aliases データベースフォーマットの相違

センターでは、メールエイリアス(メール別名)を使った電子メールの送信ができる。

普通、メールを送るときは、相手のメールアドレス(通常、ユーザ名とホスト名)を指定し、以下のコマンドで送信する。

```
% mail tkawakit@ds5000
```

ユーザ名は、姓名をローマ字に直し、名の1文字+姓とし全体で8文字としている。例えば、Kawakita Takaoであれば、tkawakitである。このユーザ名は、憶えにくいいため、kawakitaのように姓だけでも届くように別名(alias)の設定を行っている。また、ユーザがよく使用する計算機へ直接届くようにtkawakit@ds5000のようなホスト名とともに別名の登録、部やグループ単位の別名の登録も行っている。図3にメールエイリア

```

DIR =/var/yp/src
DOM = `domainname`
NOPUSH = ""
ALIASES = /var/yp/src/mail.aliases
AWK =/bin/awk
TOUCH=/usr/bin/touch
ECHO=/bin/echo
SED=/bin/sed
RM=/bin/rm
YPPDIR=/var/yp
YPDBDIR=/var/yp
YPPUSH=$(YPPDIR)/yppush
MAKEDBM=$(YPPDIR)/makedbm

all: passwd group hosts networks rpc services protocols Y
    netgroup aliases netid ethers

#
# /etc/ethersデータベースの作成
#
$(YPDBDIR)/$(DOM)/ethers.time: $(DIR)/ethers
    -@if [ -f $(DIR)/ethers ]; then Y
        $(SED) -e "/^#/d" -e s/#.*$$// $(DIR)/ethers Y
        | $(AWK) 'BEGIN { X["A"]="a"; X["B"]="b"; X["C"]="c"; X["D"]="d";X["E"]="e"; X["F"]="f"; } Y
            {for (i = 1; i <= length($$1); i++) Y
                if (substr($$1, i, 1) >= "A" && substr($$1, i, 1) <= "Z") Y
                    printf("%s", X[substr($$1, i, 1)]) ; Y
                else Y
                    printf("%s", substr($$1, i, 1)); printf(" "); Y
                print $$2}' Y
        |$(AWK) '{print $$1, $$0; for (i = 3;i <= NF;i++) print $$i,$$0}' Y
        | $(MAKEDBM) - /etc/yp/$(DOM)/ethers.byaddr; Y
        $(AWK) 'BEGIN { OFS="Yt"; } $$1 !~ /^#/ { print $$2, $$0 }' Y
            $(DIR)/ethers | Y
        $(MAKEDBM) - /etc/yp/$(DOM)/ethers.byname;Y
        $(TOUCH) $(YPDBDIR)/$(DOM)/ethers.time; Y
        $(ECHO) "updated ethers"; Y
        if [ ! $(NOPUSH) ]; then Y
            $(YPPUSH) ethers.byname; Y
            $(YPPUSH) ethers.byaddr; Y
            $(ECHO) "pushed ethers"; Y
        else Y
            ;; Y
        fi Y
    else Y
        $(ECHO) "couldn't find $(DIR)/ethers"; Y
    fi

ethers: $(YPDBDIR)/$(DOM)/ethers.time

$(DIR)/ethers:

```

図2 /etc/ethers データベース作成部 (Makefile)

```
#      電子部員
densi:sonoda,ueda,kawakita,ishimatu,kido,shigemori
# Masuo Sonoda
msonoda:msonoda@as3000
sonoda:msonoda
# Takao Kawakita
kawakita:tkawakit
tkawakit:tkawakit@ds5000
```

図3 メールエイリアスの設定例

スの設定例を示す。

メールエイリアスの設定により、以下のコマンドでユーザが使用している計算機へ直接メールを送信できる。

```
% mail kawakita
```

メールエイリアスは、NISで共有したが、これに際し、次のような問題が起こった。

NIS マスターサーバに使用している DS5000/S (ULTRIX4.1) で作成したメールエイリアス情報データベースは、他のメーカーの計算機では理解できない。しかし、AS3260 (SunOS3.5) で作成したメールエイリアス情報データベースは、他のメーカーの計算機でも理解できる。これは、データベース作成に、ULTRIXではmakedbm、SunOSではsendmailソフトウェアを使用しているので、生成されるデータベースのフォーマットが異なるため発生する。そこで、メールエイリアス情報データベースをAS3260で作成し、DS5000/Sへコピーすることで対処した。作成の流れは、次のとおりである。なお、()内は処理マシン、またはデータの流れてである。

- (1) mail.aliases ファイルの修正 (DS5000/S)
- (2) rcp による mail.aliases のコピー (DS5000/S → AS3260)
- (3) rsh による mail.aliases データベースの作成 (AS3260)
- (4) ypxfr による aliases データベースのコピー (AS3260 → DS5000/S)
- (5) yppush によるスレーブサーバへのデータベースの配布 (DS5000/S)

この機能は Makefile に追加した。図4にメールエイリアスの NIS データベースを作成する

Makefile を示す。なお、変数設定は、図2/etc/ethers データベース作成部のヘッダ部と同じである。

3.2 BIND での管理の効率化

BIND では、ホスト情報のみをワークステーション1台 (DS5000/S、プライマリマスターサーバ) で管理している。このホスト情報は、NIS と BIND 双方で別々に作成する必要がある。そこで、NIS のホスト情報から BIND のホスト情報を自動生成することで管理の効率化が図れる。また、NIS と BIND のホスト情報が同じになるため、ネットワーク全体のホスト情報の整合性も取れる。

ここでは、NIS から BIND のホスト情報を自動生成するために作成した Makefile について述べる。

BIND のプライマリマスターサーバでは、通常、キャッシュファイル、ドメインファイル、逆ドメインファイル、ローカルホストファイルを作成する。図5にこれらのデータファイルを示す。ドメインファイル (kmt-iri.host) と逆ドメインファイル (kmt-iri.rev) では、ホストに関するデータを「\$INCLUDE」で参照している。「\$INCLUDE」で参照されるファイルは、Makefile の実行時に NIS のホスト情報ファイル (/etc/hosts) から作成する。図6に作成した Makefile を示す。

なお、この Makefile は、BIND で使用される次のような情報も作成できる。

- ・計算機固有の情報 (ハードウェア名、ソフトウェア名) を記述する HINFO レコード
- ・ホスト別名を記述する CNAME レコード
- 特に、HINFO レコードを作成するため、NIS の


```

$(YPDBDIR)/$(DOM)/aliases.time: $(ALIASES)
    -@if [ -f $(ALIASES) ]; then ¥
        rep $(ALIASES) as3000:/etc/yp/src/mail.aliases ;¥
        $(ECHO) "copy mail.aliases to AS3000"; ¥
        rsh as3000 "cd /etc/yp ; make" ; ¥
        $(ECHO) "make aliases on AS3000"; ¥
        $(RM) $(YPDBDIR)/$(DOM)/mail.aliases.*;¥
        ypxfr -h as3000 mail.aliases;¥
        $(TOUCH) $(YPDBDIR)/$(DOM)/aliases.time; ¥
        $(ECHO) "updated aliases"; ¥
        if [ ! $(NOPUSH) ]; then ¥
            $(YPPUSH) mail.aliases; ¥
            $(ECHO) "pushed aliases"; ¥
        else ¥
            ; ; ¥
        fi ¥
    else ¥
        $(ECHO) "couldn't find $(ALIASES)"; ¥
    fi

```

aliases: \$(YPDBDIR)/\$(DOM)/aliases.time

\$(ALIASES):

図4 メールエイリアスデータベース作成部 (Makefile)

ホスト情報ファイルのフォーマットを図7のように拡張した。NISのホスト情報データベース作成時には、「#」以降は、コメントとして解釈される。図8に Makefile の実行で作成されたホスト情報ファイルを示す。

BINDでは、データファイルを修正後、再ロードする必要があるが、この処理も作成した Makefile で実行できる。

4. 分散ファイルシステム(NFS)²⁾の管理

NFSは、リモートの計算機に接続されているディスク上のファイルシステムをローカルの計算機にあるように扱うことができる。センターでは、ファイルサーバとしてディスク容量の大きい計算機(DS5000/S)を置き、利用者のホームディレクトリやPublic Domain Software (PDS)を共有できるようにしている。

特に、精密機械分館にあるCADシステムでは、いずれの計算機を使用しても同じ環境で同一データのアクセスが可能な設定をした。また、パソコ

ンを経由してマシニングセンターが接続されているが、PC-NFSを利用してパソコンでもユーザファイルを共有したため、簡単にデータをマシニングセンターへ送ることができる。

複数の計算機を使用する場合、どの計算機でも同じ環境で使用できることが望ましい。そのためには、各計算機のディレクトリ構造を統一する必要がある。また、NFSでは、ファイルシステムをネットワークに接続される計算機に公開するため、ファイル類の保護を行う必要がある。

ここでは、ディレクトリ構造の統一とファイルシステムの保護の設定について述べる。

4.1 ディレクトリ構造の統一

ネットワーク環境では、同じ利用者が、複数の計算機を使用することが多い。どの計算機を使用しても同じ環境でファイルを共有できるようにするため、各マシンのディレクトリ構造を統一した。センターで統一しているディレクトリ構造は、次のものがある。

/users/center/所属部/ユーザ名

◆ キャッシュファイル (kmt-iri.ca)

```

          99999999          IN      NS      server.kmt-iri.go.jp.
server.kmt-iri.go.jp.    IN      A      192.0.1.5
    
```

◆ ドメインファイル (kmt-iri.hosts)

```

;;      start of Zone
@      IN      SOA      server.kmt-iri.go.jp. postmaster.server.kmt-iri.go.jp. (
          1.1      ;Serial No
          3600     ;Refresh Time
          300      ;Retry
          3600000  ;Expire
          3600 )   ;Minimum TTL

;;      define name server
          IN      NS      server
          IN      A      192.0.1.5
;;      define host name & address
localhost  IN      A      127.0.0.1

$include      /etc/namedb/hosts

postmaster  IN      MR      tkawakit
    
```

◆ 逆ドメインファイル (kmt-iri.rev)

```

@      IN      SOA      server.kmt-iri.go.jp. postmaster.server.kmt-iri.go.jp. (
          1.1      ;Serial No
          3600     ;Refresh time
          300      ;Retry
          3600000  ;Expire
          3600 )   ;Minimum TTL
          IN      NS      server.kmt-iri.go.jp.
          IN      PTR     server.kmt-iri.go.jp.

0      IN      PTR     ethernet.kmt-iri.go.jp.

$include      /etc/namedb/hosts.rev
    
```

◆ ローカルホストファイル (kmt-iri.local)

```

@      IN      SOA      localhost. postmaster. (
          1.1      ;Serial No
          3600     ;Refresh Time
          300      ;Retry
          3600000  ;Expire
          3600 )   ;Minimum TTL
          IN      NS      server.kmt-iri.go.jp.
1      IN      PTR     localhost.
localhost.  IN      A      127.0.0.1
    
```

図5 BIND データファイル

```

#
#      yp2bind Makefile
#      Make bind host information from yp hosts
#
SED      = /bin/sed
AWK      = /bin/awk
ECHO     = /bin/echo
TOUCH    = /usr/bin/touch
KILL     = /bin/kill
YPDIR    = /usr/var/yp
NORELOAD= ""
YPHOSTS  = $(YPDIR)/src/hosts
BINDDIR  = /etc/namedb
NAMEDPID = /etc/named.pid

all:hosts

$(BINDDIR)/hosts.time: $(YPHOSTS)
    -@if [ -f $(YPHOSTS) ]; then ¥
        $(SED) -e "/^#/d" $(YPHOSTS) | ¥
        $(AWK) ' {printf("%-15s¥tIN¥tA¥t%s¥n", $$2, $$1) ; ¥
            j = NF - 2 ; ¥
            if($$j == "#") {j = NF -1 ; k = NF; ¥
                printf("%-15s¥tIN¥tHINFO¥t%s¥t%s¥n", ¥
                    "", $$j, $$k)}}; ¥
            for (i=3 ; i <= NF ; i++) ¥
                {if($$i == "#") break;¥
                printf("%-15s¥tIN¥tCNAME¥t%s¥n", $$i, $$2)}} ¥
            > $(BINDDIR)/hosts ; ¥
        $(ECHO) "update hosts"; ¥
        $(SED) -e "/^#/d" -e s/#.*$$// $(YPHOSTS) | ¥
        $(AWK) 'BEGIN { OFS="." } {print $$1, $$2}' | ¥
        $(AWK) 'BEGIN { FS="." } ¥
            {printf("%s¥tIN¥tPTR¥t%s.kmt-iri.go.jp.¥n", $$4, $$5)}' ¥
            > $(BINDDIR)/hosts.rev ; ¥
        $(ECHO) "update hosts.rev"; ¥
        $(TOUCH) $(BINDDIR)/hosts.time; ¥
        if [ ! $(NORELOAD) ]; then ¥
            $(KILL) -HUP `cat $(NAMEDPID)`; ¥
            $(ECHO) "reload named";¥
        else ¥
            : ;,¥
        fi ¥
    else ¥
        $(ECHO) "Couldn't find $(YPHOSTS)"; ¥
    fi

hosts:$(BINDDIR)/hosts.time

```

図6 BIND ホスト情報ファイル作成 Makefile

```

#
#   フォーマット
#
# IP-address   host host1 ... #   Hardware   Software
#
#   IP-address   インターネットアドレス
#   host         ホストの正式名
#   host1 ...    ホスト別名
#   Hardware     ハードウェア名
#   Software     ソフトウェア名
#
# AS3000 (T.Kawakita) 323
192.0.1.2      as3000      #   AS3260      SunOS3.5
# DECsystem5000 (T.Kawakita) 323
192.0.1.5      server ds5000s #   DS5000/SERVER  ULTRIX4.1
    
```

図7 NISでのホスト情報ファイル (/etc/hosts)

◆ ドメインファイルに参照されるホスト情報ファイル (hosts)

```

as3000      IN      A      192.0.1.2
            IN      HINFO   AS3260 SunOS3.5
server      IN      A      192.0.1.5
            IN      HINFO   DS5000/SERVER  ULTRIX4.1
ds5000s     IN      CNAME   server
    
```

◆ 逆ドメインファイルに参照されるホスト情報ファイル (hosts.rev)

```

2      IN      PTR     as3000.kmt-iri.go.jp.
5      IN      PTR     server.kmt-iri.go.jp.
    
```

図8 Makefileで作成されたBINDのホスト情報ファイル

ユーザのホームディレクトリ
 /usr/local/bin
 Texなどの各種PDSバイナリ
 /usr/local/bin/X11
 X11のバイナリ
 /usr/local/tex
 tex 関連ライブラリ・フォント

同じアーキテクチャで同じOSを使用している
 計算機では、実行形式ファイルも共有した。これ
 は、次の利点がある。

- 同じファイルを個々の計算機に置く必要がない。
- バージョンアップや新規のインストールは
 NFSサーバのみで行えばよい。

4.2 利用者の一元管理

NFSは、利用者のUID(ユーザID)とGID(グループID)を使用してユーザファイルの保護を行う。つまり、利用者のUIDとGIDが、ファイルのUIDとGIDに一致した場合、その利用者のファイルとみなす。そのため、ネットワーク内でUIDとGIDを統一する必要がある。そこで、前述のNISシステムで利用者情報(/etc/passwd)を一元管理することにより、全ての利用者のUIDとGIDが、同一になるようにした。

4.3 NFSサーバの設定

共有するファイルシステムの保護を高めるには、公開するファイルシステムの設定とNFSサーバ

となる計算機の/etc/exportsファイルの設定が重要となる。/etc/exportでは、公開するファイルシステムの制限と保護の種類を記述する。センターでは、次のようなことを行った。

- ・公開されるファイルシステムは、クライアント名の指定を必ず行った。また、利用者のホームディレクトリなどは、クライアントから特権によるアクセスを防ぐため、rootでのアクセスを許さない設定を行った。

- ・PDSの実行形式ファイルがあるディレクトリは、読出しのみの指定を行った。

なお、ディスク容量の少ない計算機が、専用にするためのディレクトリ (/usr/hosts/ホスト名)も用意しており、このディレクトリについては、クライアント名を必ず指定し、特権(root)によるアクセスを許す設定とした。

NFSサーバに使用しているDS5000/S(ULTRIX4.1)での設定例を以下に示す。

```
/users      as3000 ds5000
/usr/hosts/as3000 -r=0 as3000
/usr/local  -o ds5000 cadl.cad2
```

最初の項目は公開するファイルシステム、-oオプションは読み出しのみの指定、-r=0オプションはrootへのアクセスを許す指定、残りはNFSマウントを許可するクライアントのホスト名である。通常、-rオプションを省略した場合は、rootへのアクセスを許さない。

最新のSunOS4.1で使用されているNFS4.0での指定方法とは、異なっている。

4.4 クライアントの設定

クライアント側では、システムの立ち上げ時に

自動的にNFSサーバのファイルシステムをマウントできる。これは、クライアント計算機の/etc/fstabに記述することで行える。

ここで、重要なことは、マウントの種類である。利用者のファイルなどは、ファイルの更新、作成を完全に行う必要がある。そのため、ユーザのホームディレクトリは、ハードマウントを行った。ソフトマウントではNFSサーバに要求を繰り返して送っても反応がないときは、システムコールを異常終了するが、ハードマウントでは反応があるまで要求を送り続けるため、クライアント側の処理は必ず実行される。しかし、NFSサーバが、停止しているときは、ハードマウントの場合、サーバが復旧するまで待たされるため、割り込みで処理を中止できるようにintrオプションも指定した。

ULTRIX4.1とSunOS3.5では、/etc/fstabでの設定方法が異なっている。図9にそれぞれのOSでの/etc/fstabの設定例を示す。

5. おわりに

異機種、マルチベンダー環境におけるネットワーク管理での問題と解決方法および2つの管理システムを使用したときの効率的な管理、分散ファイルシステムの管理方法について述べた。

NISの仕様は、メーカーによって相違がある。仕様の相違を吸収するため、管理情報データベースを作成するMakefileの修正、追加を行った。その結果、NISで共有できる管理情報データベースが増えたため、より多くの管理情報の整合性を取ることができると共に効率的な管理が行えた。

◆ ULTRIX4.1での設定

```
/users@server:/users:rw:0:0:nfs:fg,hard,intr,nosuid:
/usr/local@server:/usr/local:ro:0:0:nfs:bg,soft,nosuid:
```

◆ SunOS3.5での設定

```
server:/users /users nfs rw,fg,hard,intr 0 0
```

図9 /etc/fstabの設定例

異機種マルチベンダー環境のネットワークでは、1つの管理システムで管理できない。そのため、管理システムは、NISとBINDを使用した。NISとBIND双方の管理システムでは、別々に管理データを作成する必要があるが、NISのホスト情報ファイルからBINDのホスト情報ファイルを自動的に生成するMakefileを作成したことで、NISのデータのみを作成するだけでBINDのデータが生成されるようになった。そのため、ネットワーク全体のホスト情報の整合性と管理の効率化が図られた。

分散ファイルシステムによるファイルの共有化では、各計算機のディレクトリ構造の統一を行うと共にNFSサーバにおいて公開するファイルシステムの制限とファイルシステムの保護の設定を行った。その結果、同一利用者が、どの計算機を使用しても、同じ環境で使用できるようになった。また、ファイル類が、他の利用者や計算機からの

不当なアクセスを防ぐことができた。

今後、ますます拡大、複雑化していくネットワークにおいて、ネットワーク管理の効率化とセキュリティを高めていくことは、非常に重要であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 河北隆生：熊本県工業技術センターにおけるコンピュータ・ネットワーク構築、管理および利用環境一、P. 20-27、センター情報九州 No. 70、1991、6
- 2) 川辺義勝、三浦豊樹、歌代和正：ネットワーク時代のワークステーション管理、P. 40-79、アスキー、UNIXマガジン1990、7
- 3) Douglas Comer 著、村井純・楠本博之訳：TCP/IPによるネットワーク構築、P. 32-39、共立出版、1990

Fe-Ni-Co 3元合金めっきの開発

木村 幹男*・上村 誠**

Development on Ternary Alloys of Iron-Nickel-Cobalt

Mikio KIMURA* Makoto UEMURA**

本研究は、セラミックスと金属の接合において、インサート材として用いる Fe (52%) -Ni (29%) -Co (17%) 3元合金を湿式めっき法により開発することを目的とした。

今回は、電着金属の組成に影響する電流密度、温度、pH 等を一定条件として、電解液の組成、すなわち、硫酸第一鉄、硫酸ニッケル、硫酸コバルトのモル濃度を变化させることによって、3元合金めっきの組成を制御する方法を検討した。

その結果、硫酸第一鉄 $0.7\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ 、硫酸ニッケル $0.7\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ 、硫酸コバルト $0.16\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ の電解液を用い、Fe (52%) -Ni (31%) -Co (17%) 組成のコバル合金に類似した3元合金めっきを得ることができた。

1. 緒 言

セラミックスと金属の接合は、例えば SiC と金属との接合においては、インサート材として Cu-Mn¹⁾あるいは Ti-AgCu²⁾等が開発されているが、いずれにしても両者の熱膨脹係数が著しく異なっているため接合面で、はく離等の欠陥が発生するおそれがある。このような境界面の欠陥を防止するためには、低膨脹特性を有したインサート材の使用が考えられる。低膨脹金属として、コバルと称される3元合金が開発されている。この合金は、Fe (54%) -Ni (29%) -Co (17%) の合金組成比を有し、しかも273~873Kの温度範囲で、アルミナより低い膨脹係数³⁾を保有した3元合金であり、この3元合金をめっき法により開発することが本研究の目的である。Fe-Ni-Co 3元合金めっきは、研究が少なくスルホン酸浴⁴⁾あるいはピロリン酸塩浴⁵⁾による報告があるが、本研究では、

鉄、ニッケル、コバルトの硫酸塩を使用し、電着金属の組成に影響する電流密度、温度、pH を一定条件とし、電解液の組成、すなわち硫酸第一鉄、硫酸ニッケル、硫酸コバルトのモル濃度を变化させることによって3元合金めっきの組成を制御する方法を検討した。

また、Fe-Ni、Fe-Co、Ni-Co の2元合金めっきあるいはFe-Ni-Co 3元合金めっきについて、カソード電流-電位分極曲線を求め、さらに X 線光電子分光分析を行うことにより初期の電析状況の解析を試みた。

2. 実験方法

電解液は、錯化剤としてりんご酸 $0.2\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ 、導電剤として硫酸アンモニウム $0.5\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ を用い、これに変動因子である硫酸第一鉄、硫酸ニッケルおよび硫酸コバルトを所定量添加し調整を行った。表1に電解液の組成を示す。pHの調整は、アンモニア水および硫酸を用いた。

電着はポテンショスタット (日亜計測工業(株))を用い、電解液容量 (300ml) および液温 (298K)

*情報デザイン部

**生産技術部

を一定にし、液組成、電流密度、pH を変動因子として定電流電解測定法で行った。なお、アノードには白金板 (4cm²) カソードには銅板 (4cm²) を用い、銅板は電解前にエメリーペーパー (800番) で表面の酸化皮膜を除去した後、(1+2)硝酸で化学エッチングしたものを使用した。電解はスターラーでかく拌しながら行った。

表1 電解液の組成及び電解条件

組成・電解条件	濃度・pH・温度
FeSO ₄ ・7H ₂ O	0.5~1.0 molm ⁻³
NiSO ₄ ・7H ₂ O	0.3~1.0 molm ⁻³
CoSO ₄ ・7H ₂ O	0.025~1.0 molm ⁻³
HoocCH(oH)cH ₂ cooH	0.2 molm ⁻³
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.5 molm ⁻³
pH(NH ₄ OH, H ₂ SO ₄ , adjust)	3~5
Temperature	298K

カソード電流-電位分極曲線(以下カソード分極曲線と略す)は、アノードに白金板、カソードに1.0cm²の銅板を用い、電解液を300ml、液温298kとしてスターラーでかく拌しながら測定した。照合電極は飽和カロメル電極(SCE)を基準として示した。

めっき皮膜の表面解析および組成分析はX線光電子分光分析装置(日本電子(株)JPS-90SX)並びにX線マイクロアナライザー(日本電子(株)JXA-733型)を使用した。

3. 実験結果および考察

3.1 錯化剤の選定

鉄は、電解液中では、Fe(II)、Fe(III)イオンの状態で混在し、Fe(II)の濃度が増加すればめっきの均一性を著しく害する⁶⁾といわれている。例えば、0.5mol・dm⁻³硫酸第一鉄溶液では、pH3.5近くでコロイド状の水酸化第二鉄の沈澱を生じる。これらの水酸化物の発生を防止するためには、還元剤を添加するかあるいはカルボン酸等の錯化剤を加えて遊離金属イオンを錯体として保持し析出速度を制御する方法があるが、今回は、後者の錯化剤を用いる方法を採用した。錯化剤は、種々のカルボン酸やアミン化合物が用いられているが、本実験では、クエン酸ナトリウム、EDTA、りん

ご酸、クエン酸の4種類を選定し、特に、低pH域で水酸化物の沈澱を生じる傾向が強い鉄を取り上げ、錯化剤の違いによるカソード分極曲線を測定した。その結果を図1に示す。

クエン酸ナトリウム(A)およびクエン酸(D)の水素の析出電位は、-0.5Vであり、-0.6Vに水素発生によるカソード電流の増大が観察される。りんご酸(C)の水素の析出電位は、-0.5V、また、水素発生に起因するカソード電流のピーク値は、カソード電位-0.72Vの位置に現れ、いずれもクエン酸ナトリウムと比較すれば卑へ移行している。鉄の析出電位は、クエン酸ナトリウム、クエン酸、りんご酸いずれも-0.8Vから-0.85Vの間にあり、カソード電流の増加とともに試料電極面に急速にめっき皮膜が形成され、カソード電位が-1.0Vに達すれば水素の発生が一段と激しくなる。

EDTA(B)は、以上の三者とは異なったカソード分極曲線が得られた。すなわち、水素の析出電位は-0.65V、カソード電位-0.7Vから-0.75Vの間で急速に鉄の析出が観察される。また、カソー

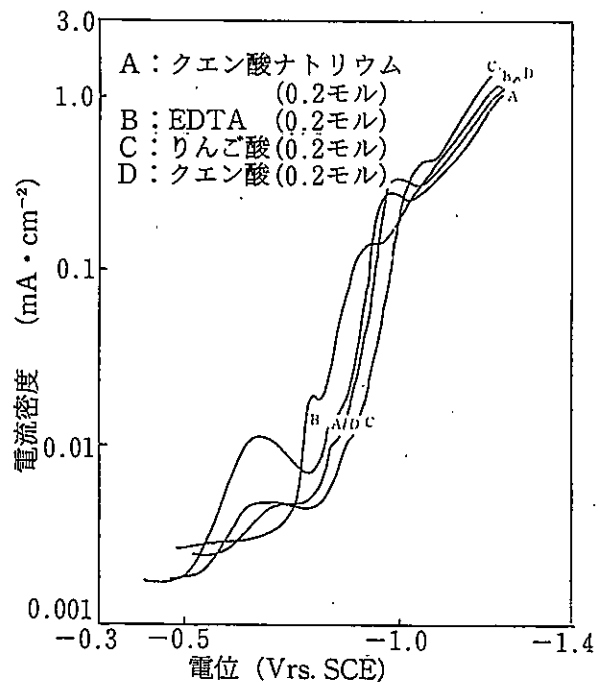


図1 錯化剤の違いによるカソード分極曲線
硫酸第一鉄 (0.1モル)、硫酸アンモニウム (0.5モル)、りんご酸 (0.2モル) pH 5

ド電位 -0.65V から -0.75V の間では、水素の発生は観察されなかった。

今回の実験に用いた4種類の錯化剤は、2つのパターンに分けることができる。1つは、クエン酸ナトリウム、クエン酸、りんご酸にみられるように、第一段階として、水素の発生が観察され、続いて鉄が急速に電析するタイプであり、他はEDTAにみられるように、水素の発生が観察されず直接鉄が析出するタイプである。

以上の結果から、EDTAがクエン酸ナトリウム等に比べて、鉄の析出電位が -0.5V 貴に位置するため鉄の電析が容易であること、また水素の発生が少ないことなどの理由により錯化剤としては優れている。しかし、EDTAは、空气中に放置することにより有機質と推定される薄褐色の皮膜が表面を覆い、かく拌時間の増大とともにその量が増え電解液の汚れの原因となるおそれがある。そこで今回は、クエン酸ナトリウム、クエン酸、りんご酸の内、初期の水素発生が少ないりんご酸を錯化剤として用いた。

一方、りんご酸等の多カルボン酸系の有機酸は錯化剤としての効果以外にpH緩衝剤としての働きがあるとされている⁷⁾。野口らは⁸⁾、カルボン酸を緩衝剤として用いた $\text{ZnCl}_2\text{-KCl}$ 液での亜鉛光沢めっきでは、光沢析出が得られる電流密度の範囲は、pHに影響を受け、pHを緩衝剤の解離定数 pK_a 値より少し低く設定することにより拡大すると結論を出している。すなわち、電解液のpHとほぼ類似した解離定数を有した緩衝剤が電解液のpHを的確に制御することができる。今回用いたりんご酸は、解離定数が3.24であり、表1に示したpH域と一致し、緩衝剤として有効であるといえる。

硫酸アンモニウムは、電解液の導電性を良好にするために用いる塩であり、例えば、鉄めっきにおける硫酸第一鉄液では、 120g/L ⁹⁾程度の濃度の硫酸アンモニウムが用いられている。江口らは¹⁰⁾、シュウ酸液におけるクロムの電流効率の研究報告で、硫酸アンモニウムの添加は、光沢クロムめっきの生成に対する耐不純物の許容量および電気伝導率の向上に寄与できるとし、電流効率が最も良好な硫酸アンモニウムは $60\sim 90\text{g/L}$ であると結論

を出している。今回の実験では、硫酸液(5ml/L)に硫酸アンモニウムの量を 0.25 、 0.5 、 $0.7\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ と変化させた場合のカソード分極曲線を測定したが、水素の析出電位は、 -0.5V から -0.55V の間であり、またカソード分極曲線の形状もほぼ同一であり、濃度による顕著な変化はみられなかった。したがって、本実験の硫酸アンモニウムの濃度は $0.5\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ に設定した。

3.2 単独塩液のpH変化によるカソード分極曲線

Fe-Ni-Co 3元合金めっきの電析特性を知るために、鉄、ニッケル、コバルトの各々の単独塩についてのカソード分極曲線を測定し、金属の電析状況の解析を行った。電解液は、前項で設定したりんご酸($0.2\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$)、硫酸アンモニウム($0.5\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$)に硫酸第一鉄、硫酸ニッケル、硫酸コバルトを各々 $1.0\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ 添加し、液晶を298Kに保ち、pHを変動因子として変化させることによりカソード分極曲線を測定した。その結果を図2、3、4に示す。

図2は、硫酸第一鉄溶液についてのカソード分極曲線を測定したものである。この図から、水素の析出電位は、pH 3、4、5の条件では、各々 -0.5V 、 -0.55V 、 -0.58V の値を示し、pHの増大とともに卑へ移行している。また、水素発生によるカソード電流のピーク値はpH3では $0.045\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ 、pH5では $0.0045\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ を示し、pHの増大とともに著しく減少している。

一方、鉄の析出電位は、pHの増大とともに貴へ移行し、鉄が初めて析出する電流密度はpHとともに小さくなる傾向を示す。すなわち、pHが高くなるほど鉄の電析が容易であるということがわかった。

図3に示すように、ニッケルの水素析出電位はpHの増大に従って卑へ移行する。カソード分極曲線は、カソード電位の増大に従いなだらかな上昇カーブを描くが、ニッケルの析出電位は不明確である。コバルトは、図4に示すように、水素の析出電位がpHの増加とともに卑へ移行することは鉄、ニッケルと似ているが、コバルトの析出電位は、pHが3、4、5と変化しても $-0.8\pm 0.02\text{V}$ と一定値を示し、鉄とは異なっている。一方、コ

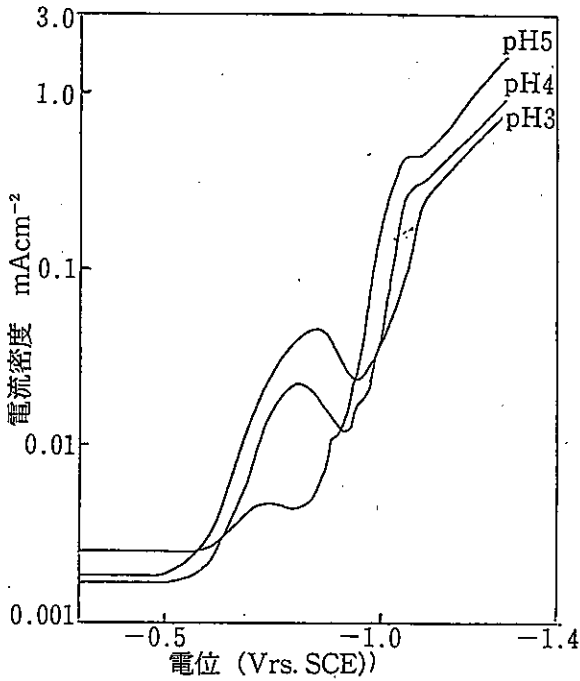


図2 硫酸第一鉄単独塩の pH の変化による鉄のカソード分極曲線
硫酸第一鉄 (1.0モル)、硫酸アンモニウム (0.5モル)、りんご酸 (0.2モル)

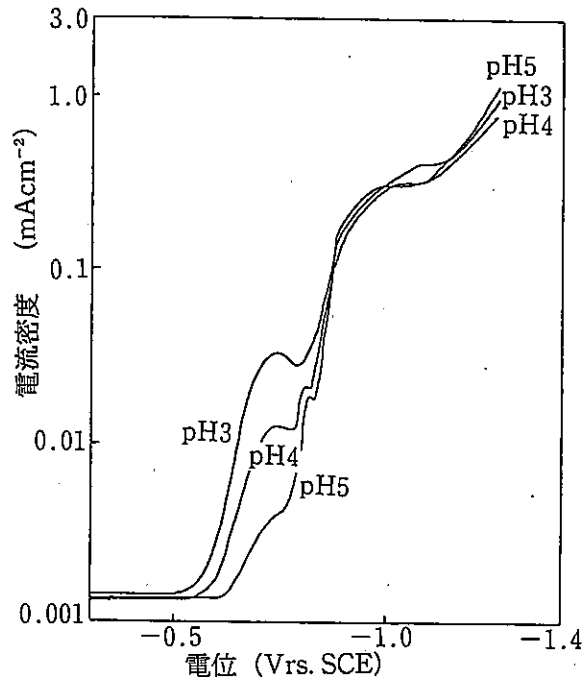


図4 硫酸コバルト単独塩の pH の変化によるコバルトのカソード分極曲線
硫酸コバルト (1.0モル)、硫酸アンモニウム (0.5モル)、りんご酸 (0.2モル)

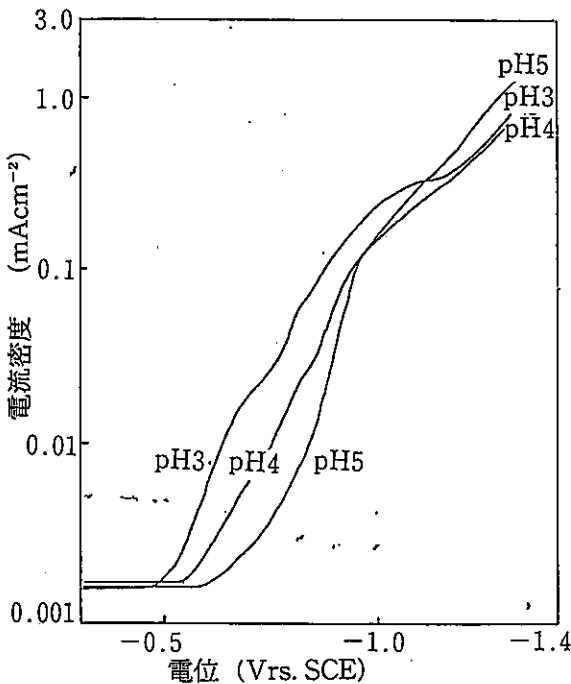


図3 硫酸ニッケル単独塩の pH の変化によるニッケルのカソード分極曲線
硫酸ニッケル (1.0モル)、硫酸アンモニウム (0.5モル)、りんご酸 (0.2モル)

バルトの析出に伴う電流密度は、pH の増加に従って減少し、鉄の場合と同じパターンを示している。

以上、鉄、ニッケル、コバルトの電析状況を明らかにするため、図2、3、4から pH 5 についてのカソード分極曲線を抜粋したものを図5に示す。鉄、ニッケル、コバルトの各々が析出する電流密度は、ニッケルとコバルトのカソード分極曲線が交差する $0.005 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ 以上であるので、表1に示した電解液組成についての単独塩液における金属の電析は、コバルト、ニッケル、鉄の順序であるということがわかった。

3.3 2元合金めっきの分極曲線

鉄、ニッケル、コバルトの標準電位は¹¹⁾、それぞれ -0.44 V 、 -0.25 V 、 -0.27 V であり、その電析はニッケル、コバルト、鉄の順序となる。前項の実験により、同一モル濃度の単独塩では、電流密度が $0.005 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ 以上となれば、コバルト、ニッケル、鉄の順序に電析することをつきとめた。つまり、電解液のモル濃度あるいは pH 等が変化すれば必ずしも標準電位の順序に従って電析しない。

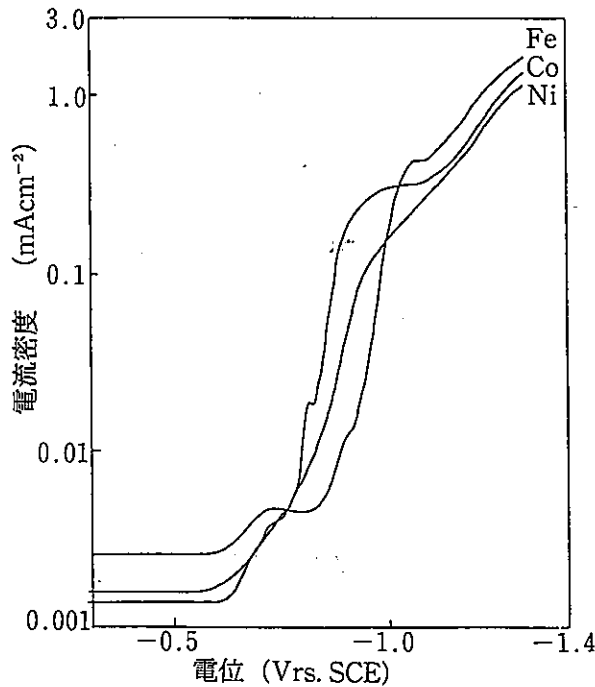


図5 単独塩の pH5における鉄、ニッケル、コバルトのカソード分極曲線

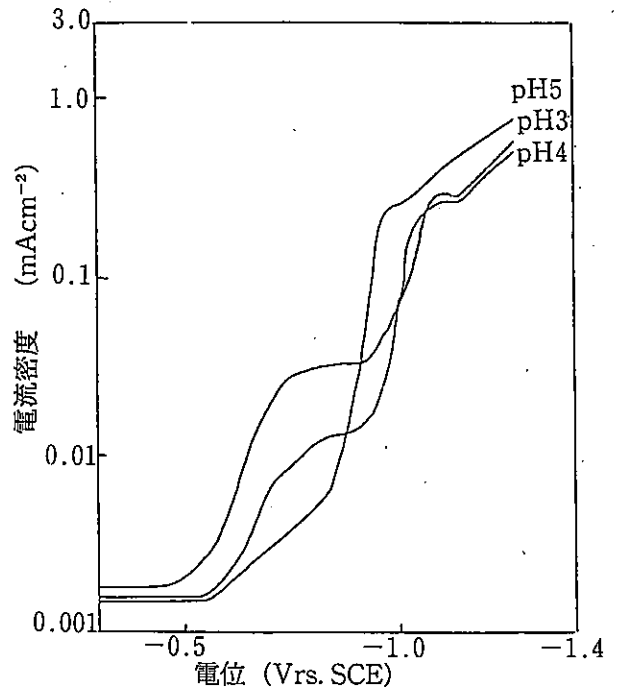


図6 pHの変化による Fe-Ni 2元合金めっきのカソード分極曲線
硫酸第一鉄 (0.5モル)、硫酸ニッケル、(0.5モル)、硫酸アンモニウム (0.5モル)、りんご酸 (0.2モル)

さらに、2元、3元合金めっきとなれば、電析機構は複雑となり単独塩と異なった状況を示すことが予想される。

そこで、各々の2元合金の電析状況を把握するため、Fe-Ni、Fe-Co、Ni-Coのカソード分極曲線を測定した。

電解は、電解液として、硫酸第一鉄、硫酸ニッケル、硫酸コバルトのモル濃度を各々 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ として、更にりんご酸 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 、硫酸アンモニウム $0.5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 添加したものを使用し、変動因子であるpHを3、4、5と変化させた。なお、液温は、298Kに設定した。その結果を図6、7、8に示す。

図6は、Fe-Niのカソード分極曲線である。pH 3では、水素の析出電位が -0.45 V に現れ、電流密度は、カソード電位の増加に従って緩やかに増大し、カソード電位が -0.8 V に達すれば飽和状態に達する。その後、カソード電位が -0.95 V でFe-Ni合金の電析が始まる。pH 4についても、pH 3と類似した曲線を描いているが、Fe-Ni合金の電析に必要な電流密度は、pH 3では、 $0.02 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ を示し、pHが増えることによって電流密度は著しい減少を示している。一方、pH 5については、

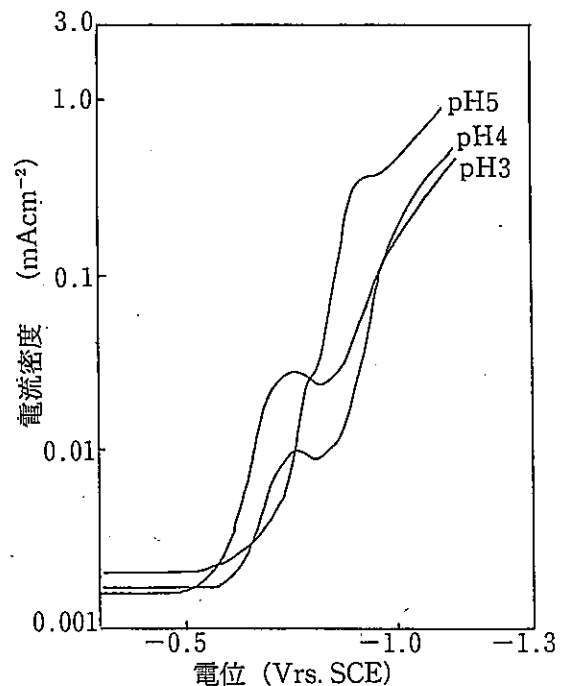


図7 pHの変化による Fe-Co 2元合金めっきのカソード分極曲線
硫酸第一鉄(0.5モル)、硫酸コバルト(0.5モル)、硫酸アンモニウム(0.5モル)、りんご酸 (0.2モル)

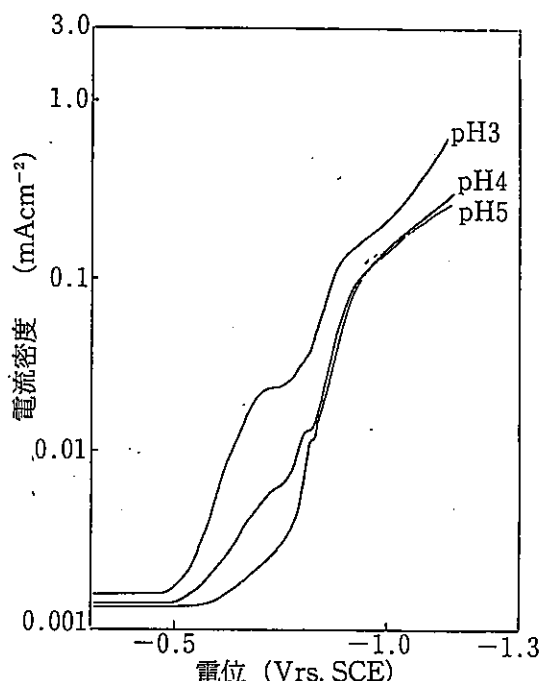


図8 pHの変化によるNi-Co 2元合金めっきのカソード分極曲線
硫酸ニッケル (0.5モル)、硫酸コバルト (0.5モル)、硫酸アンモニウム (0.5モル)、りんご酸 (0.2モル)

pH 3、pH 4 と異なったカソード分極曲線が得られた。すなわち、水素の析出電位は -0.55V に現れ、その後、直線的に電流密度が増大し、カソード電位が -0.8V に達すれば、視覚で観察される程度急速にFe-Ni合金の電析が進行する。以上により、Fe-Ni合金めっきでは、pHの影響が著しく大であり、pH 5とpHを高くすることが、電析範囲の拡大になるといえる。

図7は、Fe-Co合金めっき、図8は、Ni-Coのカソード分極曲線である。図8から、Ni-Coの析出電位は、pHに関係なく -0.8V である。一方、図7に示すように、Fe-Co合金めっきの析出電位は、pH 3、4では -0.85V 、pH 5では -0.75V であり、Fe-Ni合金めっきに比べたら 0.1V 、Ni-Co合金めっきに比べると 0.05V 貴へ移行しており、Fe-Co合金めっきが、最も電析し易い合金めっきであることがわかった。また、Fe-NiおよびNi-Co合金めっきについても、Fe-Ni合金めっきと同様、pHを高く設定したほうが、析出電位は貴へ移行し電析し易いことがわかった。

3.4 2元合金めっきのXPSによる組成分析、特にFe-Ni合金めっきの異常析出について

鉄、ニッケルは、図5で示したように単独塩であれば、ニッケルの析出電位は、鉄よりも貴に位置し、ニッケルが鉄に先行して析出することがわかった。ところが、Fe-Ni合金めっきでは、逆に標準電位が卑である鉄がニッケルに優先して析出する、いわゆる異常析出の現象が生じる。この異常析出は、水素発生によるカソード電極表面の局所的なpHの上昇のため水酸化第一鉄がカソードに吸着しニッケルの析出を抑制するとした Dahams と croll の理論が一般的であるが、最近では、安田らは¹²⁾、カソード分極曲線とカソード電極近傍のpHの変化を測定し、pH上昇域と異常共析域はよく一致すると報告している。また、中村らは¹³⁾、硫酸塩を用い異常共析が示された $0.2\sim 1.0\text{Adm}^{-2}$ の範囲で得られためっき皮膜の鉄含有量は、pHと共に増加すると報告している。両報告とも、カソード電極近傍のpH上昇と異常共析との間には相関があると結論を出している。本実験では、このようなFe-Ni合金めっきの異常析出を知るために、XPSによりめっき層を深さ方向に数段階に分け、各層の組成分析を行うことにより、鉄、ニッケルの共析状況を考察した。試料は、図6においてpH 3についてカソード分極曲線を求めたものと同じの電解条件で、電流密度を $0.001\text{mA}\cdot\text{m}^{-2}$ から $0.1\text{mA}\cdot\text{m}^{-2}$ の範囲で電解を行ったものを用いた。その結果を表2に示す。エッチング時間は、めっき皮膜を表面からアルゴンイオンでエッチングした時間を表し、エッチング時間が長いほど電流密度が小さい電解初期のデータを表示している。

この結果、小電流密度範囲(電解初期)では、鉄とニッケルの組成比が67:33であり、ニッケルが鉄に先行して電析し、先に述べた標準電位の順序に従っている。しかし、電解が進行し電流密度が大になるにつれて鉄がニッケルに優先して電析することがわかった。つまり、電流密度が小さい間は、ニッケルが鉄に先行して析出するが、電流密度が大きくなるに従い逆に鉄がニッケルに優先して析出する異常析出の現象が確認できた。

次に、表3にFe-Co合金めっき、表4にNi-Co

表2 Fe-Ni 2元合金めっきのエッチング時間の変化による組成比

etching time (sec)	Ni	Fe
10	45.52	54.47
30	48.41	51.58
60	59.45	42.54
90	57.25	42.74
120	51.16	48.48
150	53.84	46.15
180	59.61	40.38
210	62.34	37.65
270	64.79	35.20
330	67.20	32.79

表3 Fe-Co 2元合金めっきのエッチング時間の変化による組成比

etching time (sec)	Co	Fe
10	51.73	48.26
30	62.71	37.28
90	62.33	37.66
100	62.21	37.78
110	63.14	36.85
120	60.07	39.92

atomic (%)

表4 Ni-Co 2元合金めっきのエッチング時間の変化による組成比

etching time (sec)	Ni	Co
10	55.57	44.42
30	42.98	57.01
90	28.80	71.19
100	21.41	78.58
110	15.99	84.00
120	19.69	80.30

atomic (%)

合金めっきの XPS による組成分析値を示す。電解条件は Fe-Ni 合金めっきと同一である。両者とも、電流密度が小さい範囲では、コバルトの組成比が鉄およびニッケルより高く、同一モル濃度であれば、コバルトが鉄、ニッケルに対して優先的に析出する電析傾向の強い金属であることがわかった。電流密度が高くなれば、Fe-Ni および Ni-Co

合金めっきは、いずれもコバルトの組成比を徐々に減じ、めっき表面では、その組成比はほぼ 1 : 1 となる。

3.5 3元合金めっきのカソード分極曲線および XPS による組成分析

Fe-Ni-Co 3元合金は、コバルトあるいはスーパーインバルと称され低膨張合金として封入金属等に利用されている。一方、Fe-Ni-Co 3元合金めっきは、緒言で述べたようにピロリン酸塩あるいはスルファミン酸等が報告されているが研究報告は極めて少ない。本研究では硫酸塩を用いた。電解液として、硫酸第一鉄、硫酸ニッケル、硫酸コバルトのモル濃度を各々 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 、りんご酸 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 、硫酸アンモニウム $0.5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ を用い、液温を一定 (298K) として電解を行いカソード分極曲線を得た。その結果を図9に示す。

この図から、3元合金めっきの析出電位は pH 3、4、5 で各々 -0.9 V 、 -0.85 V 、 -0.8 V であり、pH が高くなるほど貴へ移行している。このこ

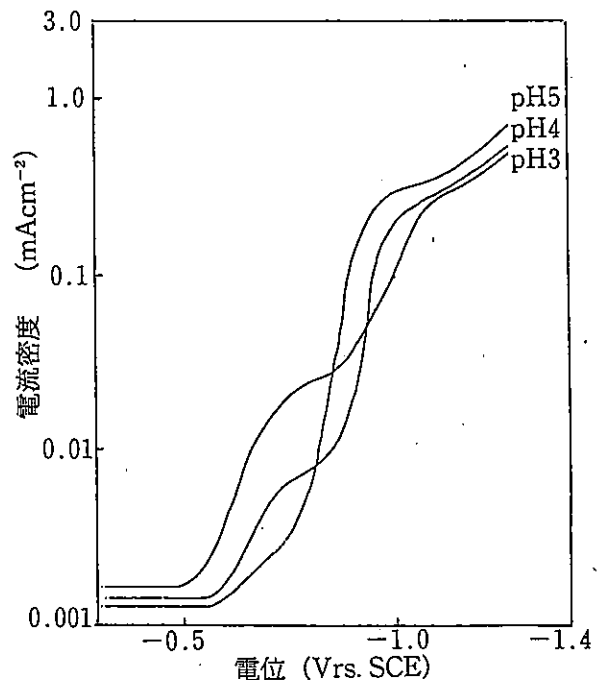


図9 pH の変化による Fe-Ni-Co 3元合金めっきのカソード分極曲線
硫酸第一鉄(0.5モル)、硫酸ニッケル(0.5モル)、硫酸コバルト(0.5モル)、硫酸アンモニウム(0.5モル)、りんご酸(0.2モル)

とは、前項の2元合金と類似しており、3元合金についてもpHが高いほど電析傾向が強いことがわかった。

次に、表5に、Fe-Ni-Co合金めっきのXPSによる組成分析を示す。電解は、カソード分極曲線の実験条件と同一であり、電流密度は、 $0.01\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ から $0.1\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ までの間を変化させた。この結果、電流密度が小さい範囲では、コバルトが鉄およびニッケルに先行して析出し、電流密度が大きくなるに従いコバルトの組成比が徐々に減少し、ニッケルが相対的に増加する。鉄は、電流密度に無関係であり、組成比が一定値(28%)を示している。

表5 Fe-Ni-Co 3元合金めっきのエッチング時間の変化による組成比

etching time (sec)	Ni	Co	Fe
10	23.95	47.29	28.75
30	13.63	58.16	28.19
60	11.64	59.35	28.99
90	11.00	59.29	29.70
120	12.46	58.70	28.82

atomic (%)

3.6 Fe-Ni-Co 3元合金めっきの電析条件

3.6.1 基本電解液の設定

前項では、 $0.5\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ の鉄、ニッケル、コバルトの硫酸塩液を用いればFe(29%) -ニッケル(24%) -コバルト(47%)の組成比の3元合金を得ることができたが、本実験では、低膨脹係数を有するコバル合金、Fe(54%) -ニッケル(29%) -コバルト(17%)を硫酸塩のモル濃度を変えることにより得ることを目的とした。

基本となる電解液の組成は次のように決めた。目的とするFe-Ni-Co 3元合金の組成比は54:29:17であり、鉄を基準とした場合、その比は1:0.54:0.3となる。この組成の合金を得るため、硫酸第一鉄、硫酸ニッケル、硫酸コバルトのモル濃度を1:0.54:0.3に設定した。一方、鉄、ニッケル、コバルトの単独の電気化学当量は各々1.042g/AH、1.05g/AH、1.099g/AHであり、電流効率を100%とした場合、上記のモル濃度を電気化学

当量で補正した硫酸第一鉄 $1.0\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ 、硫酸ニッケル $0.52\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ 、硫酸コバルト $0.3\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ を電解液の基本組成とした。

3.6.2 電流密度を変動要因とした場合の組成の変化

図10は、前項の基本電解液にりんご酸($0.2\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$)、硫酸アンモニウム($0.5\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$)を添加し、pHを5、液温298Kに設定した場合のFe-Ni-Co 3元合金めっきの組成比を示した。この結果、鉄は、電流密度が増えてもほとんど変化していない。コバルトは、電流密度の増加に従い減少し、ニッケルは、相対的に増加している。三者とも、電流密度により、顕著な変化はみられず電流密度により3元合金の組成比を制御することは難しいものと考えられる。

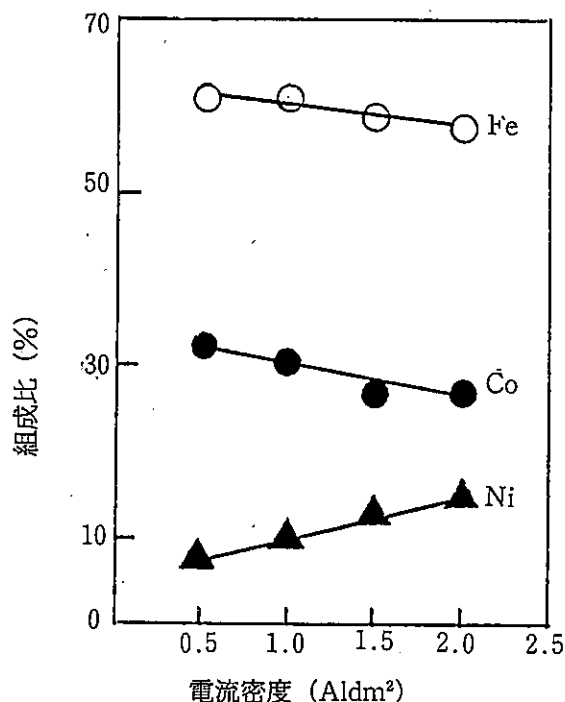


図10 電流密度による組成比の変化
硫酸第一鉄(1.0モル)、硫酸ニッケル(0.52モル)、硫酸コバルト(0.3モル)

3.6.3 硫酸塩のモル濃度を変動因子とした場合の合金組成の変化

図11は、硫酸ニッケル ($0.52\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$)、硫酸コバルト ($0.3\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$)、りんご酸 ($0.2\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$)、硫酸アンモニウム ($0.5\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) の電解液を用い硫酸第一鉄のモル濃度を $0.5\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ から $1.2\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ までの間で変化させた場合の鉄、ニッケル、コバルトの組成を示した。電解条件は、電流密度 $1.5\text{Ad}\cdot\text{m}^{-2}$ 、pH5、液温298K、電解時間30分である。同様に図12は、硫酸第一鉄および硫酸コバルトのモル濃度を固定し硫酸ニッケルを変動因子とし、また図13は硫酸コバルトを変動因子とした場合の合金組成の変化を示した。

図11から、鉄は硫酸第一鉄のモル濃度の増加とともに直線的に増えており、コバルトおよびニッケルは相対的に減少している。図12から、硫酸ニッケルのモル濃度の増大により、コバルトはほとんど変化はないがニッケルおよび鉄は相対的な増減を示している。図13から、硫酸コバルトのモル濃度の増大により、鉄は減少し、コバルトは増加し、ニッケルは減少している。

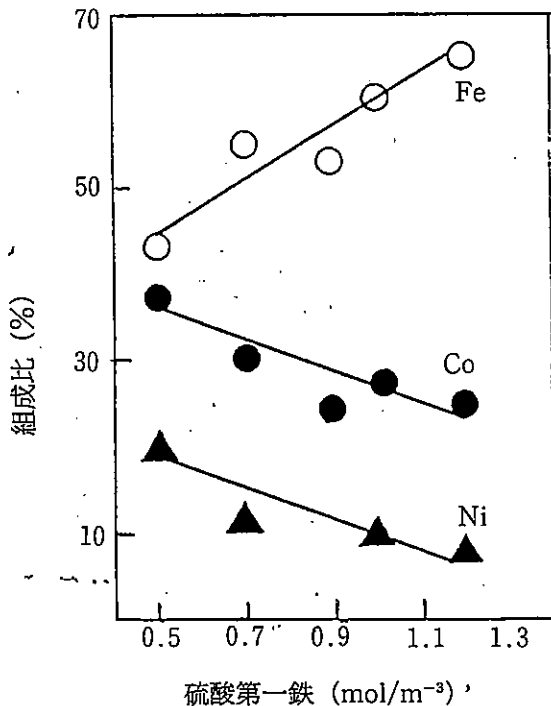


図11 硫酸第一鉄液における組成比の変化
硫酸ニッケル (0.52モル)、硫酸コバルト (0.3モル)

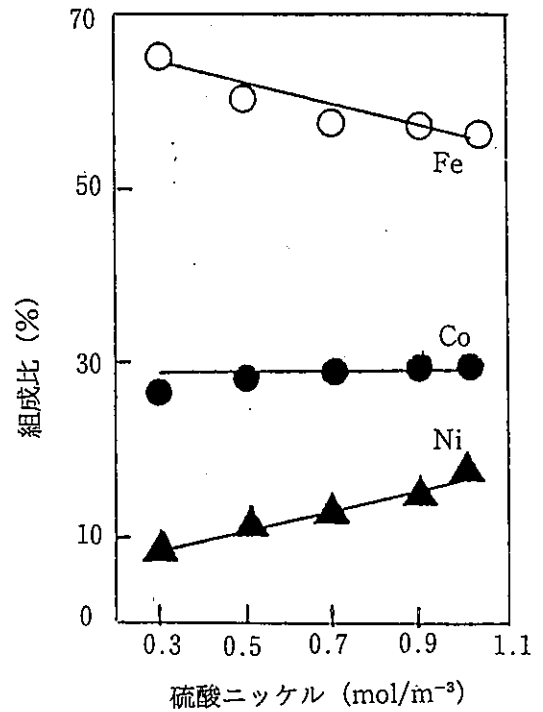


図12 硫酸ニッケル液における組成比の変化
硫酸第一鉄 (1.0モル)、硫酸コバルト (0.3モル)

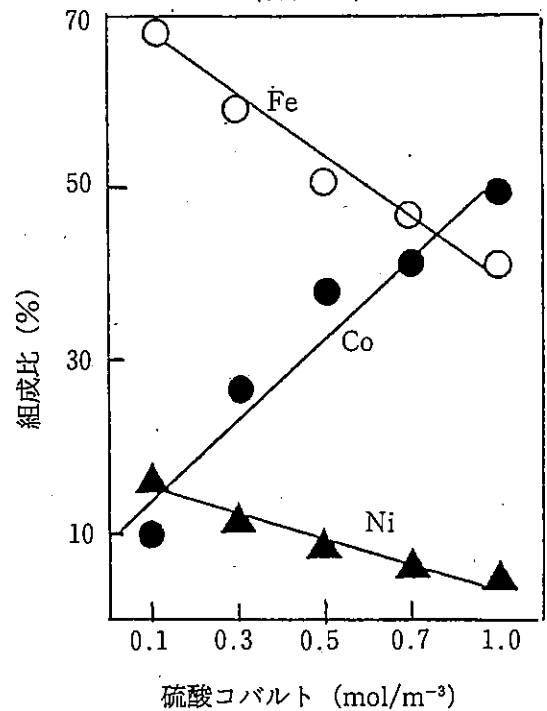


図13 硫酸コバルト液における組成比の変化
硫酸第一鉄 (1.0モル)、硫酸ニッケル (0.52モル)

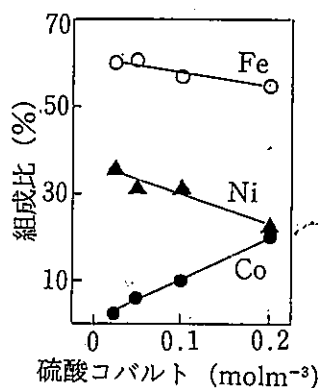


図14 硫酸コバルト液における組成比の変化
硫酸第一鉄 (1.0モル)、硫酸ニッケル (1.0モル)

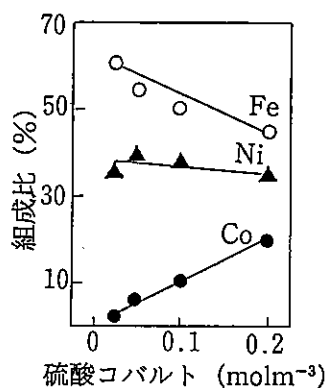


図15 硫酸コバルト液における組成比の変化
硫酸第一鉄 (0.7モル)、硫酸ニッケル (1.0モル)

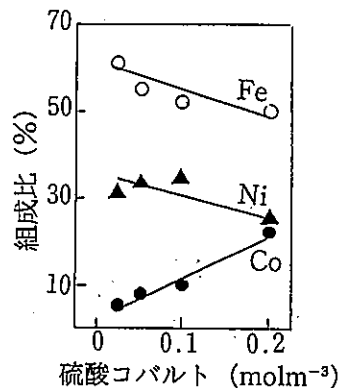


図16 硫酸コバルト液における組成比の変化
硫酸第一鉄 (0.7モル)、硫酸ニッケル (0.7モル)

濃度の増加により、コバルトは急激な増加が認められ電析傾向の強い金属であることがわかる。以上により、コバルトの組成比を20%以下にするためには硫酸コバルトのモル濃度を $0.2\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ 以下におさえる必要がある。一方、ニッケルとコバルトの組成比を逆転させるためには硫酸ニッケルのモル濃度を高くする必要がある。そこで、硫酸第一鉄はそのままとし、硫酸ニッケルのモル濃度を $0.52\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ から $1.0\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ に増加し、しかも硫酸コバルトのモル濃度を $0.2\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ 以下におさえた場合の組成比の変化を図14に示す。これより、ニッケルとコバルトの組成比は逆転したが、鉄の組成比が高くなり、さらに硫酸第一鉄のモル濃度をさげる操作を行った。その結果が図15である。この操作により、鉄の組成比は減少したが、相対的にニッケルが増大する結果となった。コバルトの組成比は変わっていない。さらに、ニッケルの組成比を減じるため、硫酸ニッケルのモル濃度を $0.7\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ に減じた場合の組成比の変化を図16に示す。この図から、硫酸コバルトのモル濃度が $0.15\sim 0.2\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ の範囲で、Fe(50~53%)、Ni(26~30%)、Co(18~22%)の合金めっきが得られる可能性がある。次に、硫酸コバルト $0.15\sim 0.2\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ の範囲で、3元合金の組成比を明確にするため、硫酸コバルトのモル濃度を0.16、0.17、0.18と細分化し、3元合金めっきの組成比を求めた。

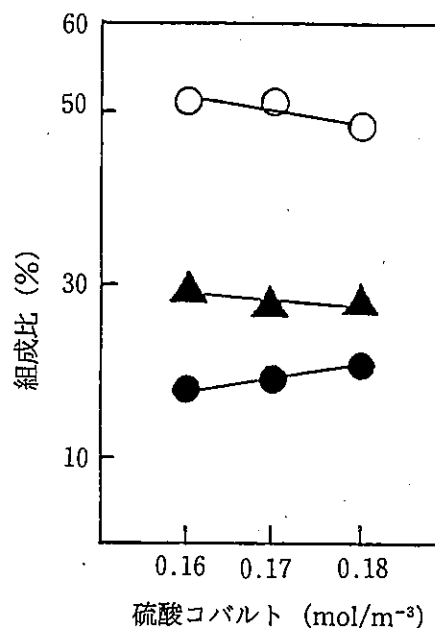


図17 硫酸コバルトにおける組成比の変化
硫酸第一鉄 (0.8モル)、硫酸ニッケル (0.8モル)

図17、18は硫酸コバルト $0.15\sim 0.2\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ の範囲で硫酸第一鉄および硫酸ニッケルを0.8、0.9 $\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ と設定した場合の3元合金めっきの組成を示す。

図17から、硫酸第一鉄 $0.8\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ 、硫酸ニッケル $0.8\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ 、硫酸コバルト $0.16\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$

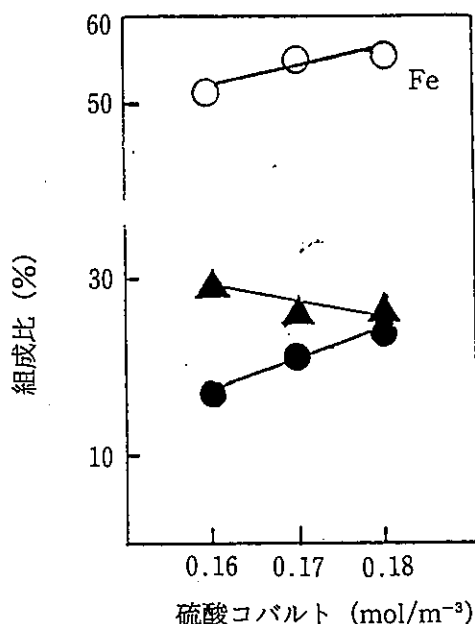


図18 硫酸コバルトにおける組成比の変化
硫酸第一鉄 (0.9モル)、硫酸ニッケル (0.9モル)

の条件で、Fe (51%) -Ni (30%) -Co (19%)、また図18から、硫酸第一鉄 $0.9\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ 、硫酸ニッケル $0.9\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ 、硫酸コバルト $0.16\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ の条件で、Fe- (52%) Ni (31%) -Co (17%)の組成比の3元合金めっきを得ることができた。

4. 結 論

硫酸第一鉄、硫酸ニッケル、硫酸コバルトのモル濃度を変動因子とすることにより3元合金めっきの組成比を制御する方法を検討した結果、次のような結論を得た。

- (1) 同一モル濃度の単独塩における金属の電析は、コバルト、ニッケル、鉄の順序であり、コバルトが著しく電析傾向が強いことがわかった。
- (2) Fe-Ni、Fe-Co、Ni-Coの2元合金では、pHを高く設定することにより金属の析出電位は貴へ移行し電析範囲が拡大した。
- (3) Fe-Ni 2元合金めっきでは、小電流密度の範囲ではニッケルが鉄に先行して析出するが、電流密度が大きくなるにつれて逆に鉄がニッケルに優先して析出する異常析出の現象が確認でき

た。

- (4) Fe-CoおよびNi-Co 2元合金めっきでは、小電流密度の範囲においては、コバルトの電析傾向が強く、電流密度が増えるに従いコバルトは、その組成比を減じ、めっき表面では、2元合金の組成比は1:1となる。
- (5) Fe-Ni-Co 3元合金めっきに関しても、2元合金と同様、pHを高く設定したほうが電析範囲が拡大している。
- (6) Fe-Ni-Co 3元合金めっきについては、小電流密度域では、2元合金と同様コバルトが、鉄、ニッケルに優先して析出し、電流密度が増大するにつれて、コバルトの組成比は徐々に減少し相対的にニッケルが増大する。一方、鉄は、変化していない。
- (7) 3元合金めっきに関して、鉄、ニッケル、コバルトの組成比に影響する因子は、各々の硫酸塩のモル濃度であることがわかった。

種々の硫酸塩のモル濃度を検討した結果、硫酸第一鉄 $0.7\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ 、硫酸ニッケル $0.7\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ 、硫酸コバルト $0.16\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ の条件で、コバル合金に類似したFe (52%) -Ni (31%) -Co (17%)の組成比の3元合金めっきを得ることができた。

最後に、本研究の実施にあたり、XPS分析でご協力いただいた材料開発部の永田研究参事に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 宮崎邦夫、大越幸夫、鈴木斉：“SicとCu-Mn合金との界面反応”溶接学会論文集第8巻(1990)第3号、431
- 2) 岡村久宣、坂本征彦、志田朝彦：“活性金属ろうによる炭化ケイ素セラミックスの接合”溶接学会論文集、第8巻(1990)第2号、108
- 3) 高塩治男：“Mo法によるアルミナセラミックスと金属の封着”窯業協会誌、81[3] 1973、109
- 4) N. Phan, M. Schwartz, K. nobe: “Electrodeposition of Fe-Ni and Fe-Ni-Co SuperInvar Alloys”Plating、75[8]

- 1988、46
- 5) D. V. Surahman, T. L. Rama Char: "Electrodeposition from the Pyrophosphate Bath Ternary Alloy of Nickel-Cobalt-Iron" Met. Fin., 64(12), 1966
 - 6) J. Socha, A. Przywoski Fe-Ni から光沢合金層の電気化学的析出 Metalloberfläche 38(1)13、1986
 - 7) 金属表面技術協会編: "無電解めっき" 朝倉書店、1790、15
 - 8) 野田祐臣、小谷勇: "ZnCl₂-KCl 浴での亜鉛光沢電析に及ぼす浴 pH と緩衝剤" 金属表面技術 Vol137、No13、1986、742
 - 9) めっき技術便覧編集委員会: "めっき技術便覧" 日刊工業新聞社1980、270
 - 10) 江口晴一郎、横井昌幸: "シュウ酸浴におけるクロムめっきの電流効率" 金属表面技術 Vol133、No4、1982、136
 - 11) 田村英雄、松田好晴: "現代電気化学" 培風館1977、54
 - 12) 安田誠之、小浦延幸: "Fe-Ni 合金電着とその共析機構に及ぼす陰極近傍の pH 変化" 金属表面技術 Vol133、No9、1982、27
 - 13) N. Nakamura, T. Hayasi "Temperature and pH Effects on the Anomalous Co depositio of Ni-Fe Alloys" Plating、72[8]、42、1985

アルミナ、ジルコニアセラミックスの穴あけ及び溝加工特性

— 硬脆材料の超音波加工技術に関する研究 —

高橋 孝誠*・石 氷 泰 夫*・八 戸 和 男**

Drilling and Grooving Characteristics of Alumina and Zirconia Ceramics

— Study on Ultrasonic Machining of Brittle Materials —

Kôsei TAKAHASI* Yasuo ISIGÔRI* and Kazuo YAE**

本研究は、被削材として硬脆材料（構造用セラミックス）を用い、ダイヤモンド砥石による研削と超音波を組み合わせた超音波研削方式における穴あけ加工と溝加工特性について検討を行った。

その結果、アルミナセラミックスの場合、穴あけ加工、溝加工の研削抵抗は、常圧焼結材で1/2程度、HIP材で1/3程度に低下する。

ジルコニアセラミックスの場合、常圧焼結材、HIP材ともに、穴あけ加工では超音波の効果は少なく、溝加工では、切込みが少ない場合に研削抵抗は1/2程度に低下することなどがわかった。

1. 緒 言

セラミックスを中心とする硬脆材料が機械構造用材料として近年注目され、今後その利用拡大が期待されている。しかし、これらの硬脆材料が広く機械部品として使用されるためには、高精度でしかも能率のよい加工法の確立が重要な課題となる。

現在のセラミックス加工法を加工エネルギーの与え方によって分類すると、機械的、化学的、光学的、電気化学的加工法などがあるが、生産性の点で広く工業的に用いられているのは機械的加工方法である。そして平面加工及び仕上げ加工には、ダイヤモンド砥石による研削とラッピング、ポリシングが多く用いられている。穴加工には超音波加工や研削、電子ビームやレーザー加工が用いられているが、価格や能率、精度、加工クラック

といった点でまだ解決すべき問題が残されている。

そこで、本研究では、既に硬脆材料の加工に広く適用されている従来の2倍の振動数（40kHz）を有する超音波加工機の主軸（工具）に回転を与え、超音波加工とダイヤモンド砥石による研削加工を組み合わせた超音波複合研削加工法を用いて、各種セラミックスの加工特性について検討を行った。

表1 超音波加工機の仕様

型 式	URT-403ZNC 超音波研削盤
テーブル移動量	150×150mm(X, Y)
テーブル移動速度	0.06~150mm/min
超音波発信出力	40kHz、700W
スピンドル回転数	50~4000rpm
超音波振幅	max. 20 μ m
発信器	DUKANE、700W

*生産技術部

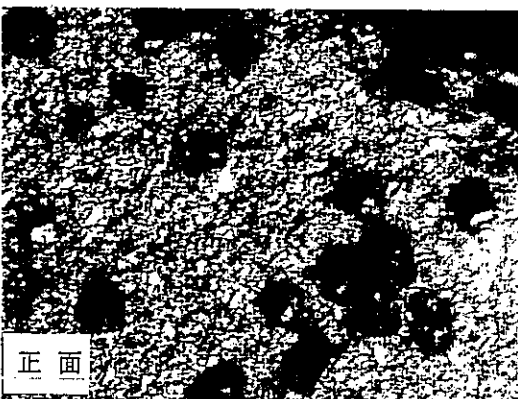
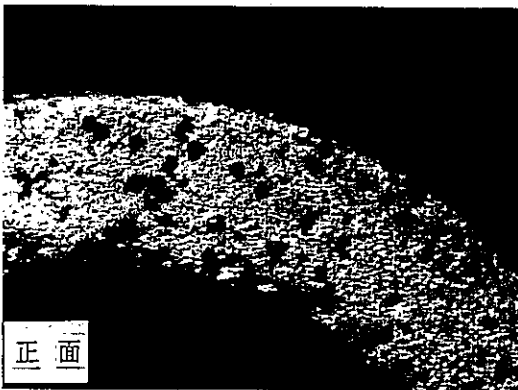
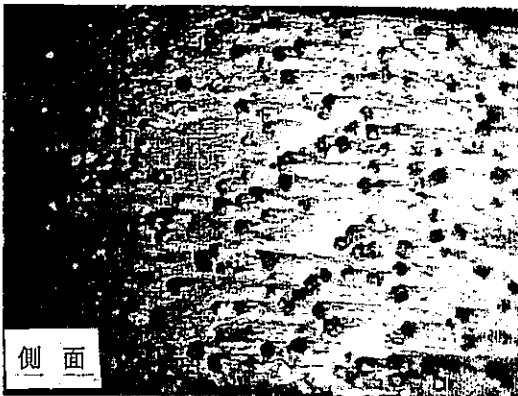
**九州東海大学工学部

表2 被削材（セラミックス）の物性

材 質	焼結法	製品名称	製 造 所	かさ比重	曲げ強度 kg/mm ²	硬 さ		熱膨張係数 ×10 ⁶ /°C	熱伝導率 cal/cm・s・K
						HV (P=500g)	HRA		
アルミナ系	常 圧	AH-100S	岩尾磁器工業㈱	3.9	40	1700	—	8	0.055
ジルコニア系	常 圧	Z-95	岩尾磁器工業㈱	6.05	120	1500	—	9	0.0044
アルミナ系	HIP	Al ₂ O ₃	日本タングステン㈱	3.97	75	—	93.6	7.0	0.07
ジルコニア系	HIP	ZrO ₂ -Y ₂ O ₃	日本タングステン㈱	6.10	150	—	91.5	9.2	0.008

表3 ダイヤモンドツールの仕様

工具の直径(mm)	粒度(#)	集中度	結 合 剤	材 質
外径 10.0	100	75	MG9(メタルボンド)	ダイヤモンドコアドリル
内径 7.0	200	100	MU2(メタルボンド)	SD



2. 実験方法

2.1 実験装置

実験に用いた超音波加工機の仕様を表1に示す。

2.2 被削材

被削材は広く用いられているアルミナ系セラミックス (Al₂O₃)、ジルコニア系セラミックス (ZrO₂) を用いた。それぞれの物性を表2に示す。

2.3 工 具

工具として用いたダイヤモンド砥石 (コアドリル) の仕様を表3に、表面状態の一例を図1に示す。

2.4 実験条件

各材料で物性値に違いがあるため同一の実験条件で行うことはできなかった。そこで予備実験の結果をもとに、機械の性能と砥石の組合せにより、可能と思われる加工条件をそれぞれの材料について設定した。その実験条件を表4に示す。研削液の供給は、穴あけ加工についてはウォータージャケットを用いた内部供給方式とし、溝加工について

表4 実験の項目と条件

項 目	条 件
砥石回転数	1000、2000、3000rpm
砥石送り速度	0.6~150mm/min
切込み量	0.001~3.0mm
研削液	JISW 2種、ソリュブルタイプ 50倍希釈液
砥石ドレス	WA ステック砥石

図1 コアドリルの表面状態 (SD100-75)

は、工具外周から供給した。

2.5 研削抵抗の測定

研削抵抗の測定は、テーブル上に動力計を設置し、増幅器を経てペンレコーダで記録した。動力計（佐藤工機製 AST-MM）は、スラストおよび水平方向とも2450Nまで測定可能である。

3. 実験結果と考察

3.1 穴あけ加工特性

3.1.1 超音波加工機の発振器出力と振幅

超音波加工機の特徴は、超音波発振出力（以下「出力」と略す）と振幅に大きな影響を受ける。現在使用されている加工機では、振動数が20kHz前後で、振幅は20~30 μ m、出力は最大で200W程度である。今回使用した40kHzの加工機は、出力700Wである。ダイヤモンド砥石を取り付けたときの振幅を図2に示す。出力が20~100%において15~18 μ mの振幅である。振幅は、切削動力計を使用し接触法で測定した値である。

3.1.2 穴あけ加工における超音波発振出力と研削抵抗

出力と軸方向研削抵抗の関係を図3に示す。アルミナ系セラミックスでは、常圧焼結材とHIP材ともに超音波付加の効果は大きい。特にHIP材については研削のみでは送り $f=7.8\text{mm/min}$ の加工では、研削抵抗が大きいのに対し、超音波を付加することにより、研削抵抗は急激に低下する。

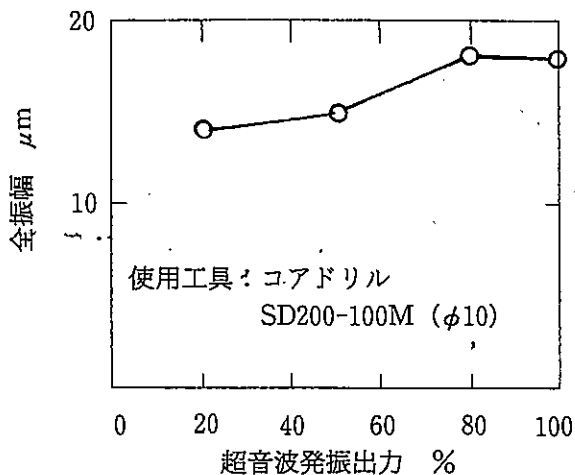


図2 超音波発振出力とコアドリル先端の全振幅の関係

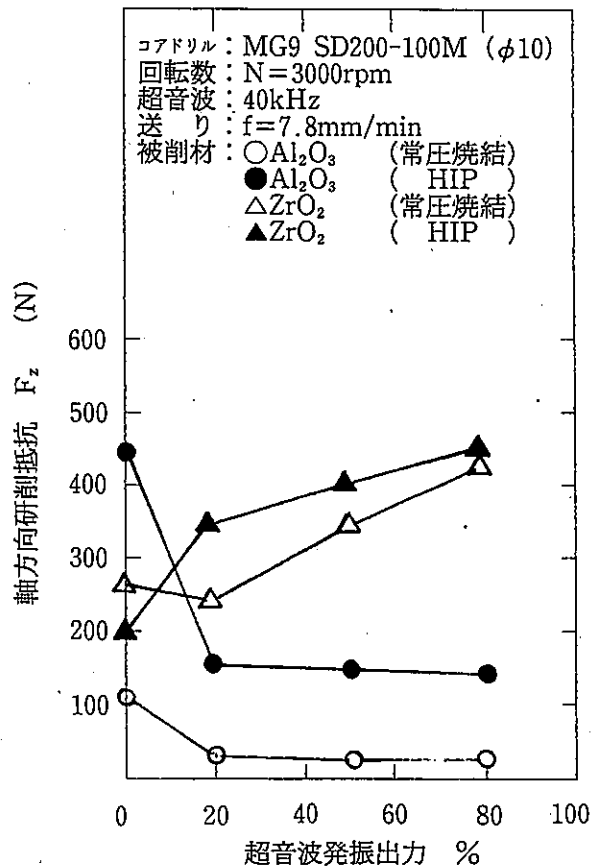


図3 超音波発振出力と研削抵抗の関係

出力を増加していくと、20%までは研削抵抗は低下する傾向にあるが、それ以上では顕著な効果は見られない。これは、図2で示すとおり出力を上げていっても振幅の差が最大4 μ m程度で変化が少ないためと思われる。ジルコニア系セラミックスでは、常圧焼結材で、20%の出力でわずかに研削抵抗が下がるが、アルミナ系と逆の傾向を示し、出力が上がると研削抵抗も上がるという結果が得られた。このことは、ジルコニアとアルミナの研削加工形態の違いに起因するものと考えられる。すなわち、アルミナは脆性破壊により加工が進行するのに対し、ジルコニアは塑性流動によるものであり、研削熱により破壊靱性値が低下する。研削のみの場合は砥石が常に加工面に接触しているため、超音波付加に比較して温度上昇が高くなることが予想され、その結果研削抵抗値が低下したものと考えられる。20kHzでの超音波加工機による実験結果では、逆の傾向を示している例もあり²⁾、材質の違いも含めて検討する必要がある。

3.1.3 穴あけ加工における送り速度と研削抵抗

穴あけ加工における送り速度と研削抵抗の関係を図4に示す。アルミナ系では、常圧焼結材とHIP材では研削抵抗が大きく異なる。常圧焼結材では送り速度が $f=20\text{mm/min}$ でも研削抵抗はさほど変化なく、安定した加工ができています。しかし、HIP材では研削抵抗が急増するため $f=10\text{mm/min}$ 程度が限界となる。

ジルコニア系では、常圧焼結材とHIP材ではあまり差が見られない。送りの増加とともに研削抵抗も増加するが、いずれも $f=10\sim 15\text{mm/min}$ 程度が限界と思われる。

3.1.4 穴あけ加工における回転数と研削抵抗

コアドリル回転数と研削抵抗の関係を図5に示す。各材料いずれも回転数が上がるにつれて、研削抵抗は減少する傾向を示す。アルミナ系では、常圧焼結材の場合その傾向は小さいが、HIP材では大きい。

ジルコニア系では $N=2000\sim 3000\text{rpm}$ での減少傾向は小さいが、 $N=1000\text{rpm}$ では研削抵抗が急激に増加し、使用した加工機のスラスト力を 1000N と制限した場合、これをオーバーすることが予想されたため途中で中止した。

3.1.5 穴あけ加工における工具寿命と研削抵抗

各材種ごとの、穴あけ回数における軸方向研削抵抗を図6に示す。工具寿命については、連続して何個の穴あけ加工ができるかを測定したが、寿命は、スラスト方向の研削抵抗が 1000N を超えない範囲で砥石の表面を実体顕微鏡で観察し、砥粒の脱落、目づまり、摩耗の程度によって判定した。また超音波の効果を見るため超音波有りとなしの場合の変化について検討した。実験条件は、回転数 $N=3000\text{rpm}$ 、送り $f=4.3\text{mm/min}$ 、加工深さ $d=3.2\text{mm}$ とした。図7において、アルミナ系(常圧焼結材)の超音波有り、およびジルコニア系(常

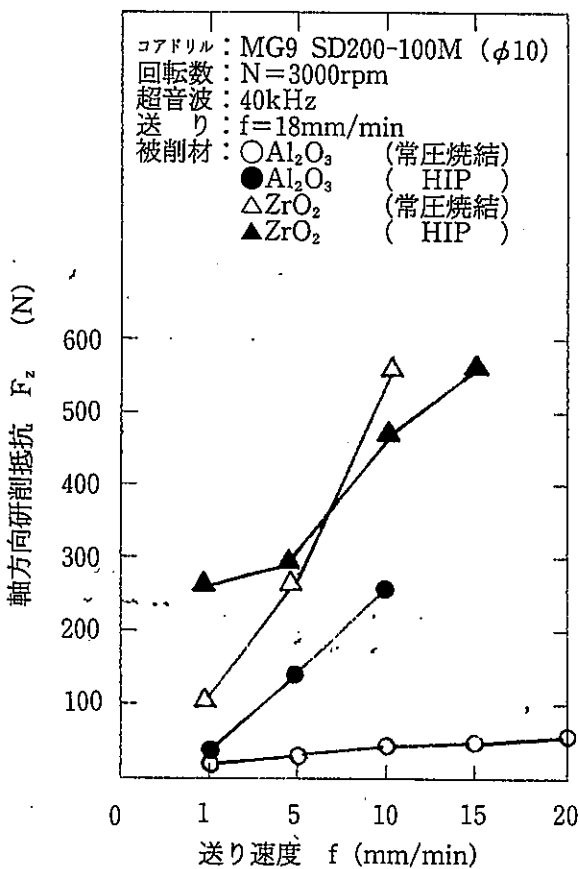


図4 コアドリルによる送り速度と研削抵抗の関係

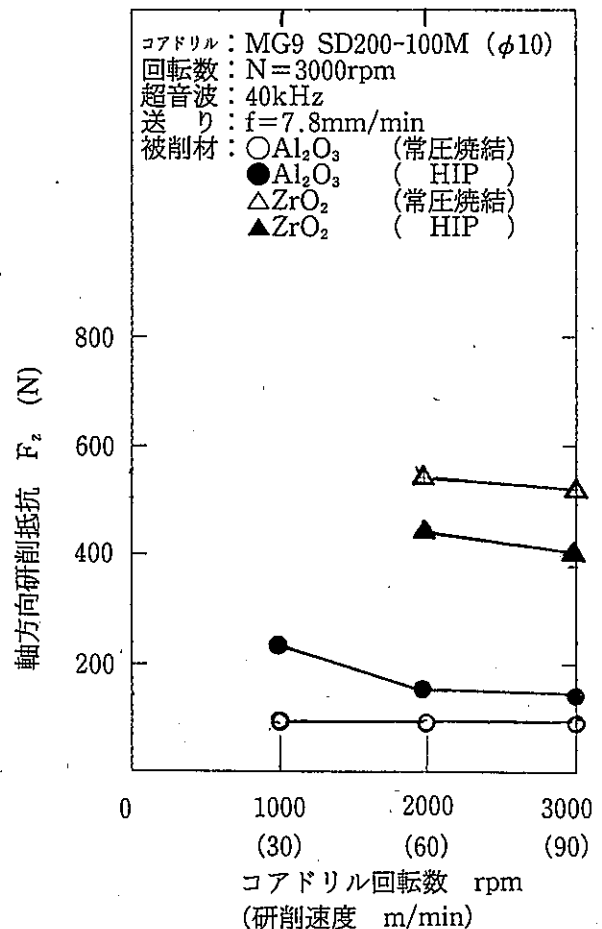


図5 コアドリル回転数と研削抵抗の関係

□ Al₂O₃ (常圧焼結) 超音波あり ▲ Al₂O₃ (HIP) 超音波あり × ZrO₂ (常圧焼結) 超音波あり ▽ ZrO₂ (HIP) 超音波あり
 + Al₂O₃ (常圧焼結) 超音波なし ◆ Al₂O₃ (HIP) 超音波なし ⊠ ZrO₂ (常圧焼結) 超音波なし * ZrO₂ (HIP) 超音波なし

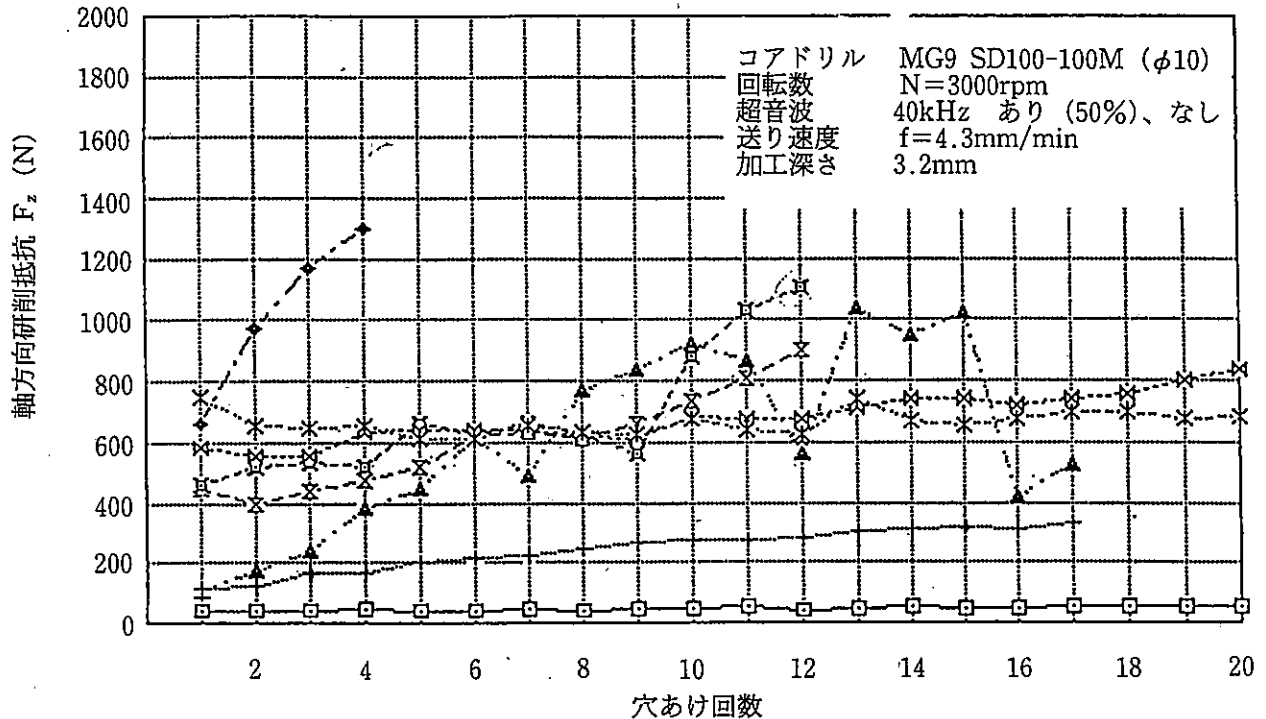


図6 穴あけ回数と軸方向研削抵抗の関係

圧焼結材、HIP材)の無しについては、図に示す最多回数(20回)よりも更に寿命が延びているが、今回はそれ以降の実験は行っていない。研削抵抗は、アルミナ系(常圧焼結材)が最も低く、その他の材料については条件によって変動する。研削開始直後では、アルミナ系(HIP材)の超音波有りの場合が低く、さらにジルコニア系(常圧焼結材、HIP材)の超音波有りが続き、ジルコニア系(常圧焼結材、HIP材)およびアルミナ系(HIP材)の超音波無しの場合が最も高い値となる。穴明け回数を増していくと、アルミナ系(常圧焼結材)は研削抵抗が小となり、その変動も少なく寿命も長い。アルミナ系(HIP材)は研削抵抗の立ち上がりが急で、特に超音波無しの場合は5回目で寿命となり、有りの場合は、研削抵抗が徐々に増加しながら部分的に抑揚を見せ18回目で寿命に至った。そのときのコアドリルの表面状態の一例を図7に示すが、ダイヤモンドが完全に脱落した状態になっている。途中での研削抵抗の抑揚については不明確であるが、砥粒の脱落などが考えられる。

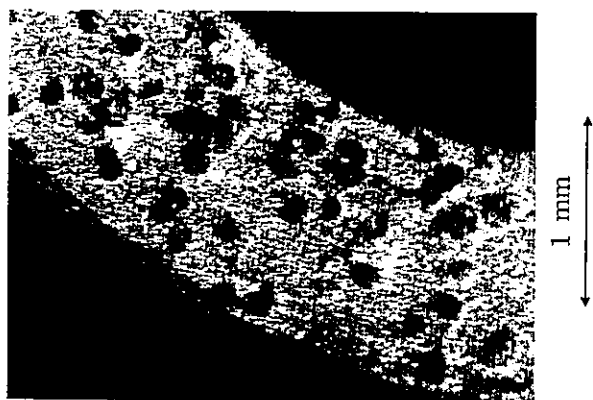
ジルコニア系(常圧、HIP)の超音波有りの場合は、10回目程度から抵抗が急増し始め、いずれも13回目で寿命となり、無しの場合は抵抗も低く寿命も長い。一般的に、研削抵抗が大きくなると当然寿命が短くなり、軸方向の抵抗値が900~1300N程度で寿命に至ると予測される。

3.1.6 穴あけ加工における寸法精度とチップング

穴あけ加工時の各種材料における穴あけ回数と直径の変化を図8に示す。使用したコアドリルは直径10mm±0.02mmであるが、機械軸の振れが先端で0.02~0.04mm程度あるため、穴の拡大は最大で0.1mmの増加が予測される。図でみるとジルコニア系の常圧焼結材でやや大きな変化傾向を示したが、他はほぼ0.1mm以内に収まっており、穴あけ回数による差はあまりみられない。この理由は、穴あけの加工においては、砥石の底面で加工が進んでいくため、外周の摩耗は少なく、直径の変化も砥石径と主軸の振れに依存する割合が高くなることによるものと考えられる。また、超音波有りと無しでも明確な差はみられない。



アルミナ (HIP) 5 個穴明け後
 N: 3,000rpm f: 4.3mm/min d: 3.2mm



ドレス直後

図7 コアドリルの表面状態 (SD100-100)

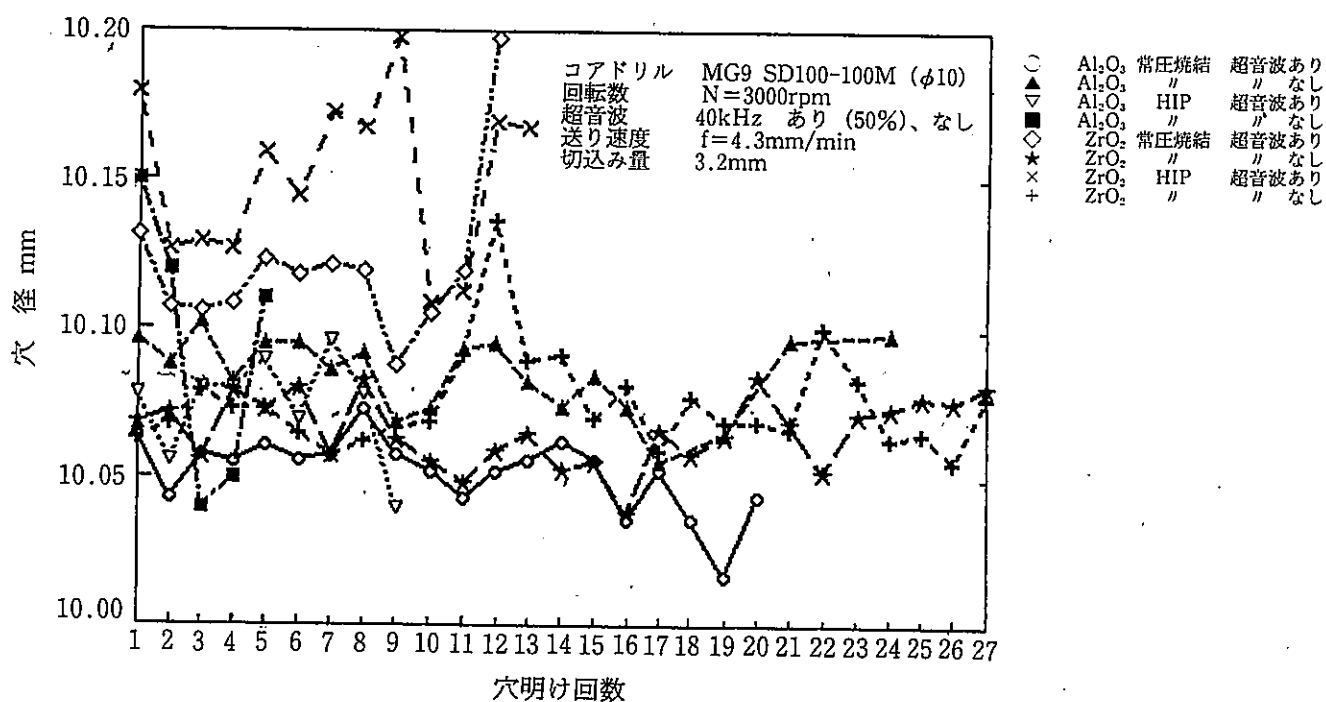


図8 各種材料における穴あけ回数と穴径の関係

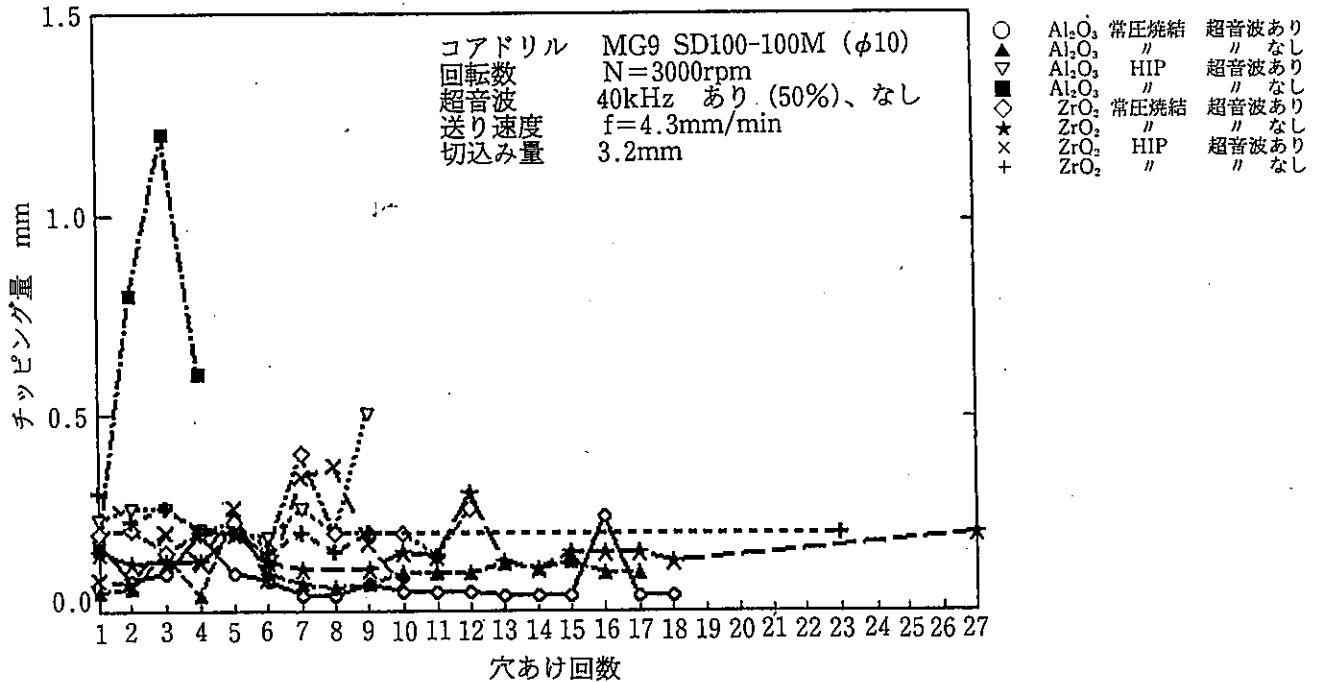


図9 各種材料における穴あけ回数とチップング量の関係

各種材料における穴あけ回数とチップング量の変化を図9に示す。アルミナ系の常圧焼結材が最も少ない傾向を示しているが、明確な差はみられない。超音波の有、無しではアルミナ系のHIP材で超音波無しの場合が、大きなチップングの発生が見られた。これは図6で示すように研削抵抗が1200Nという大きな値を示しており、抵抗の増加による砥石先端の振れ回りに起因するものと思われる。アルミナ系HIP材の超音波無しを除けば、チップング量は0.1~0.3mm程度あり、実際の製品精度からみると大きい。これは送りを4.3mmに設定していることが影響していることも予想される。研削開始時に送りを小さくし切り込んだ時点で、送り速度を上げていくことによって少なくなったという事例もあり、今後検討を要する。穴あけにおけるチップング状態の一例を図10に示す。

3.2 アルミナ系セラミックス、ジルコニア系セラミックスの溝加工特性

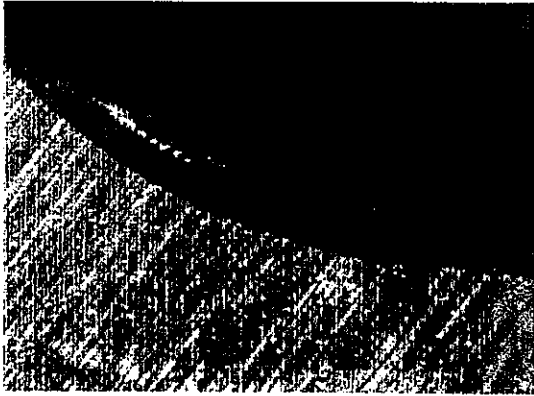
3.2.1 溝加工における超音波振動の効果と研削抵抗

溝加工は、直径10mmのコアドリルにより、直

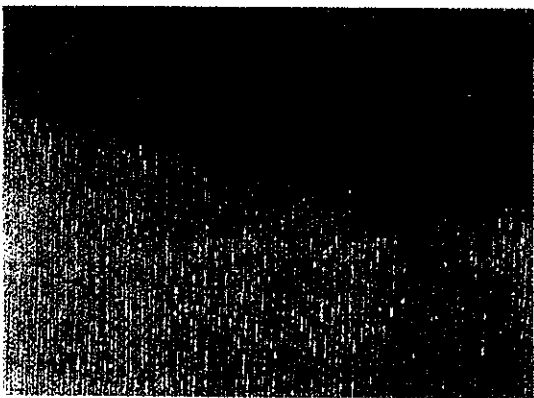
径の幅で表面から切込みを与え、テーブルに送りかける加工であり、エンドミルの溝加工と同様の方法を用いた。アルミナ系およびジルコニア系セラミックスについて、切込み深さと研削抵抗の関係について、超音波有りと無しで比較した結果を図11、図12に示す。

切込みを5~60 μ mの範囲で与えているが、アルミ系セラミックスにおいては、常圧焼結材、HIP材ともに、穴あけ加工と同様に超音波の効果により、研削抵抗は低下し、常圧焼結材では1/2、HIP材では1/3~1/5程度になる。焼結法の違いではHIP材の場合、研削抵抗は切込み深さが大きくなるに従い急増するが、常圧焼結材ではほとんど変化しない。砥石の表面状態の観察においても、ダイヤモンドの突出し量の変化が少なく、一種のドレス作用が働いたものと予想される。

ジルコニア系セラミックスにおいても、超音波を付加することによって、研削抵抗が低下する結果となった。穴あけ加工時には逆の結果であったが、これは切込み量が微小の場合、温度の上昇が少ないため破壊靱性値の低下がなく超音波の効果が見れたものと推察される。切込みがHIP材で20



ジルコニア (HIP) チッピング量 0.2mm



アルミナ (HIP) チッピング量 0.1mm

図10 穴あけにおけるチッピングの状態
砥石:SD100-100 回転数N:3000 rpm、送りf:4.3mm、切込み深さd:3.2mm

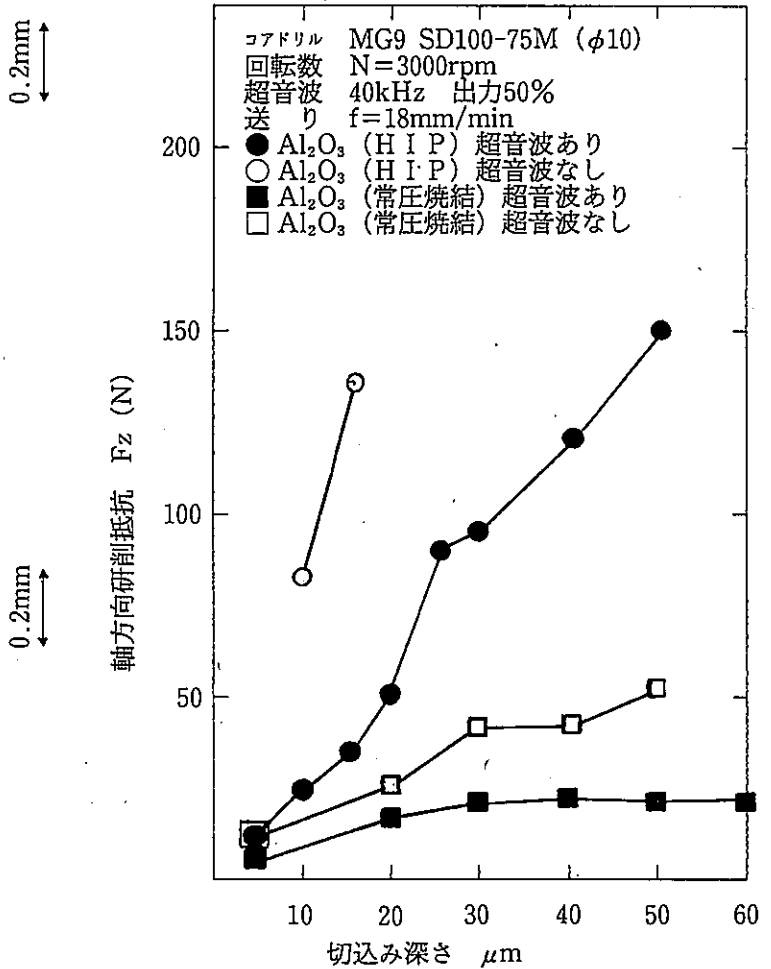


図11 コアドリルによる溝加工の切込み深さと研削抵抗の関係

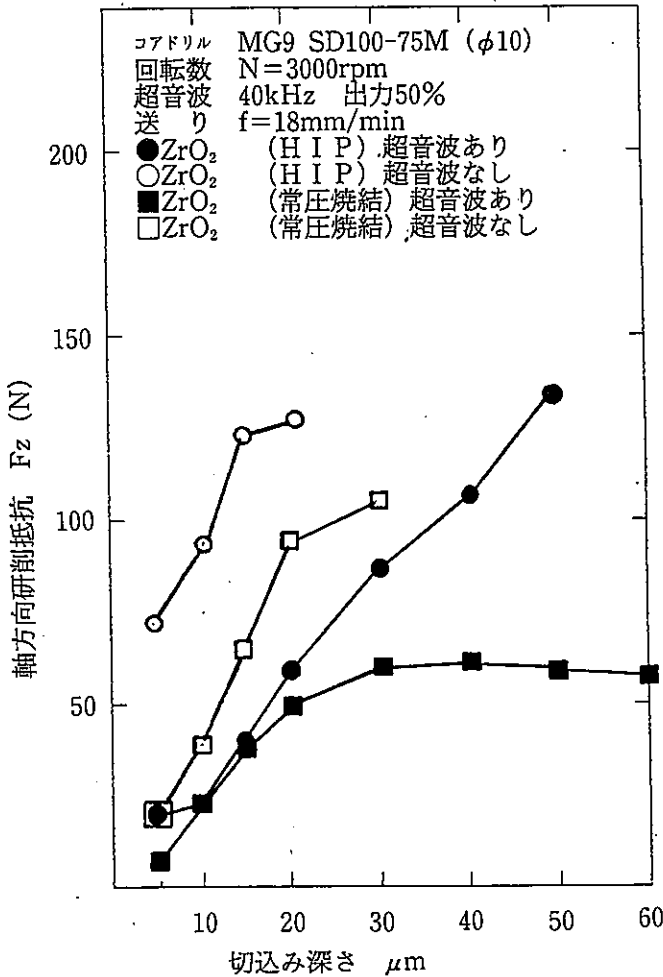


図12 コアドリルによる溝加工の切込み深さと研削抵抗の関係

μm 以上、常圧焼結材で30μm 以上の超音波無しの場合については、機械に振動が発生したため実験を中止したが、研削抵抗値の変化から判断すると HIP 材で15μm、常圧焼結材で20μm 以上の切込みで抵抗値の傾斜がゆるやかになるので、穴あけ加工と同様に差は少くなると予想される。焼結の違いについては、超音波有りとなしの場合いずれも HIP 材の方が上がる傾向になる。

3.2.2 切込み深さと研削抵抗

アルミナ系常圧焼結材における溝加工の切込み深さ (1mm 以上) と研削抵抗の関係を図13に示す。送りがある程度速くなり、切込み量が1mm 以上になると、微小切込みのときにはほとんど検出されなかった送り方向の抵抗が、軸方向の抵抗より大きくなる。これは当然のことであるが、除去量が送り方向で大きくなるためと思われる。また、

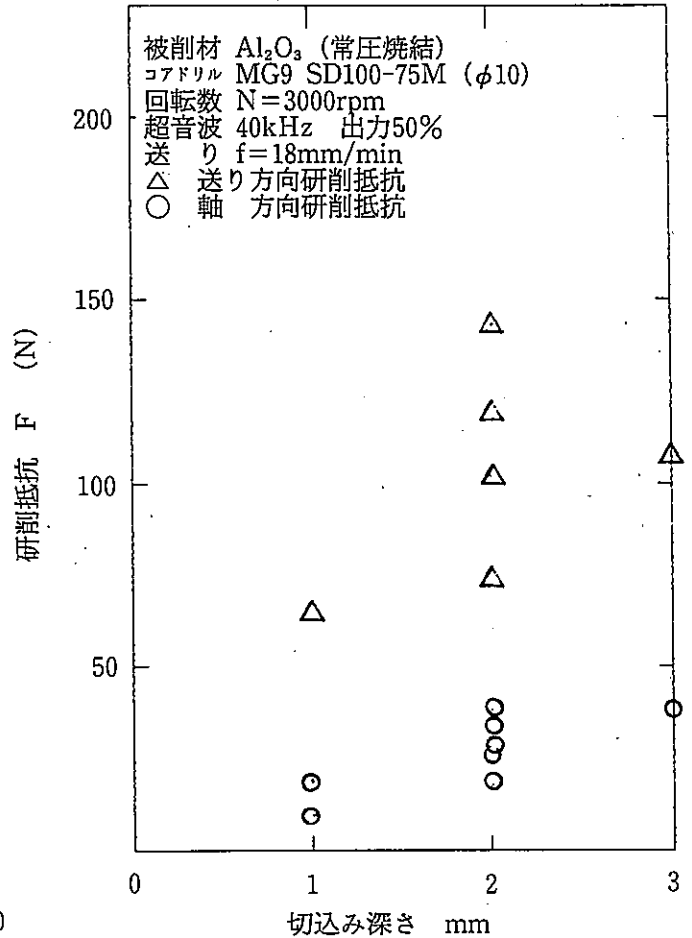


図13 コアドリルによる溝加工の切込み深さと研削抵抗の関係

切込み量2mm でのプロットは、砥石をドレスなしで実験したものであるが、送り方向の抵抗が大きくばらつき、摩耗の影響が大きく寄与したことを示すものと思われる。

同じく、アルミナ系の常圧焼結材における側面加工の切込みの深さと研削抵抗の関係を図14に示す。いずれも送り方向の抵抗であり、軸方向の抵抗はわずかであった。

3.2.3 焼結法の違いによる研削抵抗

アルミナ系セラミックスにおいて常圧焼結材と HIP 材の違いによる研削抵抗の関係を図15に示す。図11では HIP 材の場合は、微小切込みにおいても研削抵抗が急増する傾向にあったが、図15では切込み量を1.0mm に設定し比較を行った。常圧焼結材の場合、軸方向の抵抗はほとんど検出されず、送り方向の抵抗のみ増加している。しかし

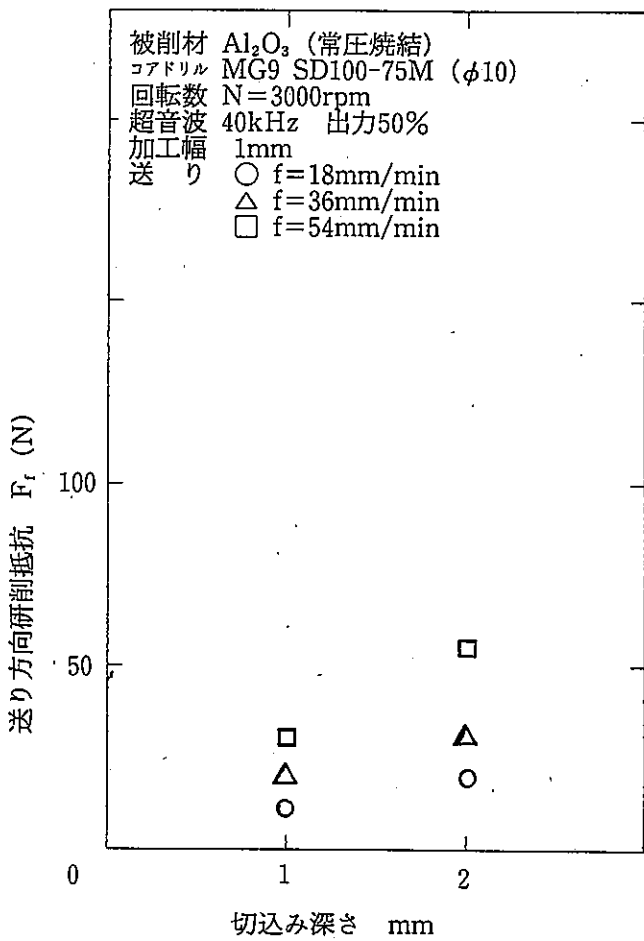


図14 側面加工の切込み深さと研削抵抗の関係

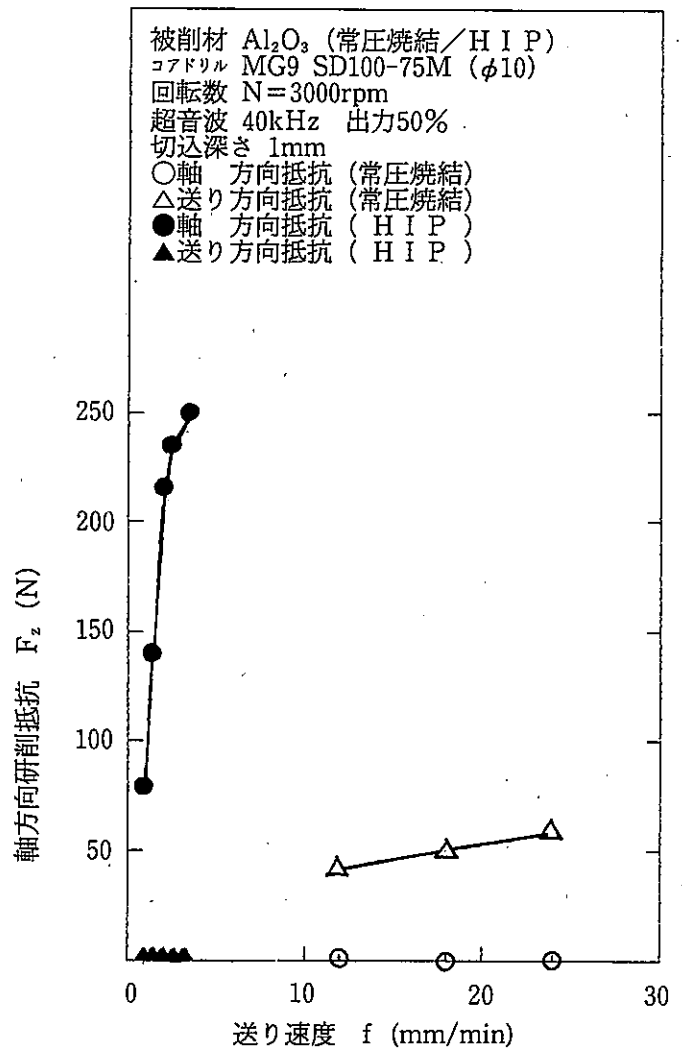


図15 溝加工におけるアルミナ系セラミックスの焼結の違いによる送り速度と研削抵抗の関係

これも数値的にみると60N前後と小さい。一方、HIP材の場合送り速度が小さいこともあり、送り方向の研削抵抗はわずかである。しかし、軸方向の抵抗は、送り速度が1~3mm/minに変化すると3倍以上に増加し、平面研削における一種のクリープフィード研削の場合と同様の傾向を示した。このことから、切込みを少なくして送り速度を上げていく加工法が、研削抵抗と除去速度の関連においては効果があると予測される。

3.2.4 コアドリル結合剤の違いによる研削抵抗

溝加工におけるコアドリル結合剤の違いと研削抵抗の関係を図16に示す。穴あけ加工においては、メタルボンド結合剤の違いによる研削抵抗の変化は、穴あけ深さが小さいこともありほとんどみられなかったが、溝加工では切削距離 $L=50\text{mm}$ で図に示すように顕著な差異が認められる。溝加工の場合、砥石の摩耗が顕著に出てくるのは、砥石コーナー部である。MG9とMU2を比較した場合、MU2の方がコーナー部の摩耗が少ない。これは硬度が高いこと、ダイヤモンド砥粒との結合が強いため脱落が少なく、抵抗が下がったためと考えられる。

3.2.5 超音波加工における溝加工の表面性状

超音波加工と通常の研削における表面の性状について、アルミナ系常圧焼結材についての表面粗さを比較したものを図17に示す。粗さ曲線を比較すると、超音波無しの研削では表面はフラットな状態であるが、底部は一部に鋭利な凹部が見られる。これに対し超音波有りの場合は表面、底部ともにほぼ同様の形態を示している。一般研削においては、通常塑性流動に伴う研削条痕が認められるが、超音波研削の場合はこれがみられないため、表面性状が良くなるものと考えられ、研削損傷の面からもメリットがあるといえる。さらに、これを電子顕微鏡で観察したものを図18に示す。

セラミックスの場合、材料除去には脆性破壊型と塑性変形型との2種類があるといわれている。図で観察する限り脆性破壊型の様相を呈しており、400倍では明確な差は見られない。1000倍で見ると、研削加工のみの場合は、一部塑性変形型の様相が見られるが、超音波を付加したものはそれが

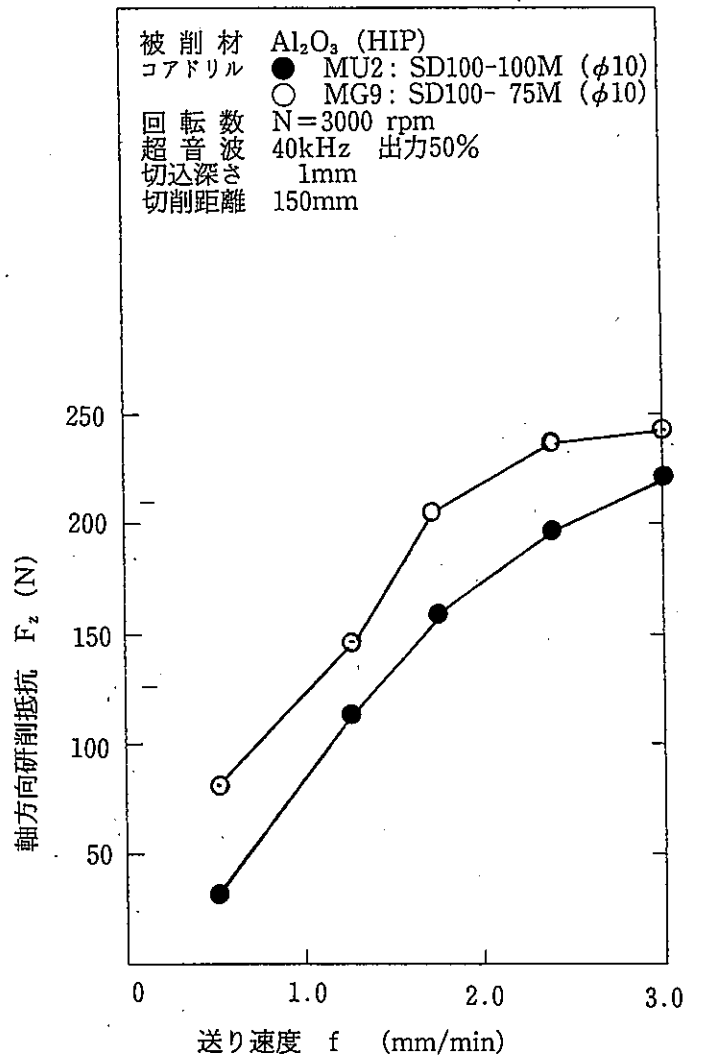


図16 溝加工におけるアルミナ系セラミックスの結合剤の違いによる送り速度と研削抵抗の関係

みられず脆性破壊型である。超音波による縦振動で当然の結果であるが、研削抵抗を考えた場合、微小破壊が非常に早い速度で繰り返され脆性破壊が進行していくので、抵抗が小さくなるものと思われる。

4. 結 論

- (1) アルミナ系セラミックスの穴あけ加工に超音波を付加することによって、研削抵抗は、常圧焼結材では1/2程度、HIP材では1/3程度に低下する。穴あけ加工における研削抵抗は、送り速度に依存するが、直径10mmのコアドリルにより、切込み深さを3.2mmで設定した場合、常圧

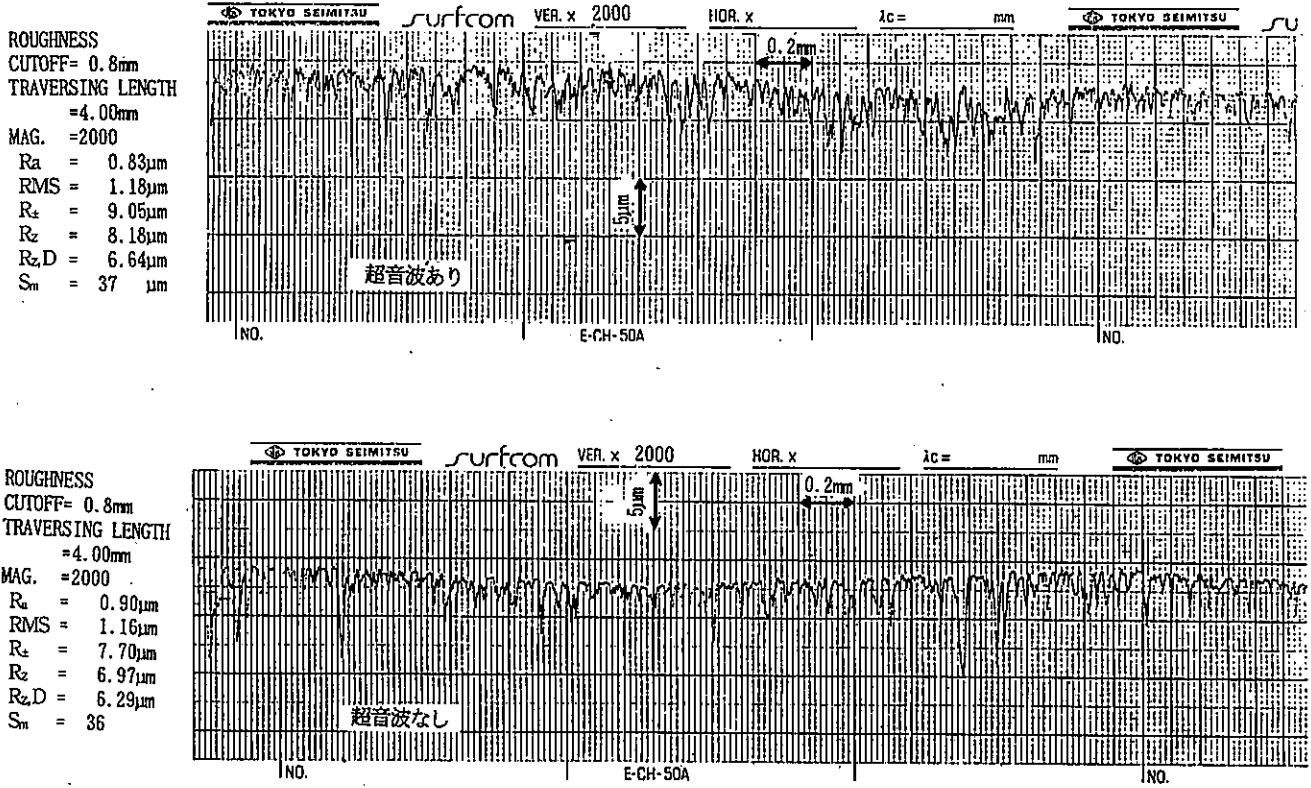
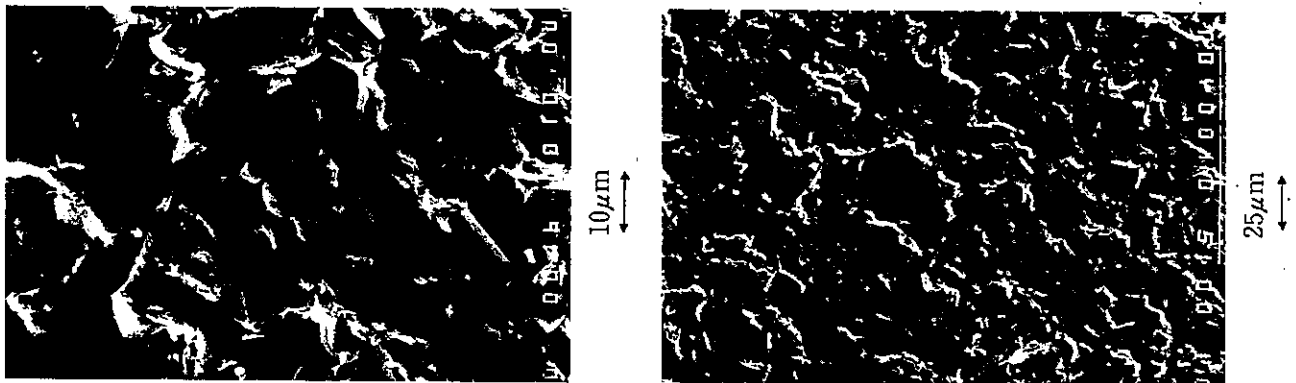
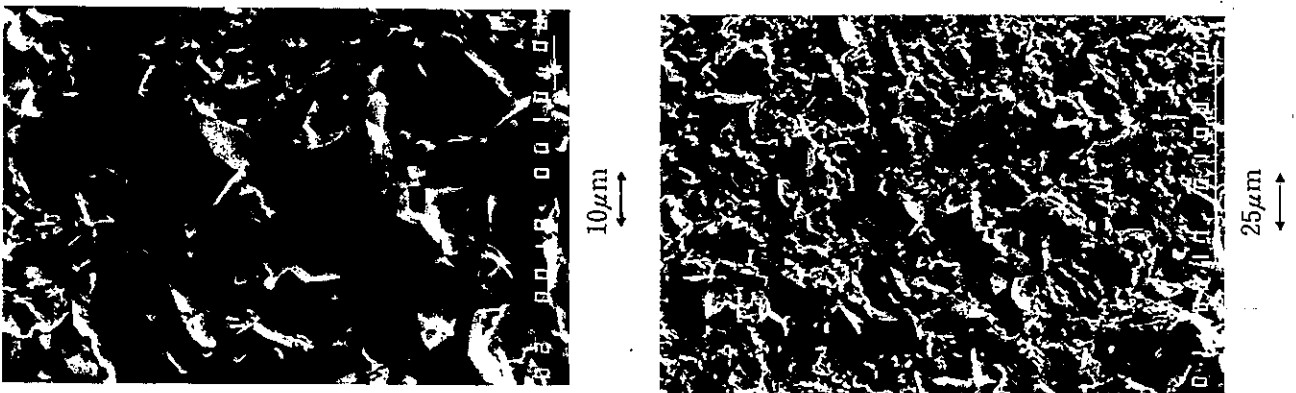


図17 アルミナ系セラミックス (常圧焼結) の加工面粗さ



研削 切込み d=1mm、送り f=7.8mm/min、N=3,000rpm



超音波+研削 切込み d=1mm、送り f=7.8mm/min、N=3,000rpm

図18 アルミナ系セラミックス (常圧焼結材) における表面状態

焼結材では60mm/minでも可能であるがHIP材では10mm/min程度が限度になる。回転数は常圧焼結材では、1000rpm(研削速度30m/min)以上であれば、送り7.8mm/minの加工は可能であるが、HIP材では2000rpm(研削速度60m/min)以下では研削抵抗が急増するため加工が困難となる。軸方向(スラスト)の研削抵抗から判断すると1000~1300Nで寿命に至ると予測される。入口のチップング量は、研削送り4.3mm/minにおいて0.1mm程度発生する。穴入口の拡大代は0.1mm程度となるが、軸振れの影響が大きい。

- (2) アルミナ系セラミックスの溝加工においても超音波の効果はできるが、穴あけ加工に比較すると少ない。研削抵抗は、切込みが少ない場合は軸方向(スラスト)の抵抗が、送り方向より高くなるが、切込みが大きくなると逆転してくる。HIP材では、常圧焼結材に比較して抵抗値が大きい。加工方法としては、切込みを少なくして送りを上げる方向がよい。
- (3) ジルコニア系セラミックスの穴あけ加工においては、超音波の効果は少なく研削抵抗値は逆に上がる。常圧焼結材とHIP材の違いは少ない。入口のチップング量は、研削送り4.3mm/

minにおいて0.1~0.3mm程度発生する。

- (4) ジルコニア系セラミックスの溝加工においては、切込みが小さい場合は超音波の効果ができるが、大きくなると効果が少なくなる。焼結法の違いでは、HIP材の方が研削抵抗が大きくなる。
- (5) 超音波加工におけるアルミナ系セラミックスの表面性状は、研削面に比較すると塑性流動に伴う研削条痕がみられず、研削損傷の点からもメリットがある。

参 考 文 献

- 1) 今中治; 硬脆材料の基本的特性とその加工技術, 機械と工具 Vol.27, No. 6, P26~32 (1983)
- 2) 海野邦昭; ファインセラミックスの超音波研削特性, 職業訓練大学校紀要, 第18号 A (1989)
- 3) 「加工技術データファイル」編集委員会, 5・6巻追補1 (1989)
- 4) 高橋孝誠, 石氷泰夫, 上田昇, 平野和光; 硬脆材料の超音波加工技術に関する研究, 平成元年度技術開発費補助事業成果普及講習会テキスト (1990)

金型加工のためのワイヤ放電加工条件最適化の技術

冨重定三*・松田次郎**

Approach of Optimum Working Condition on Wire-EDM for Manufacturing Metal Dies.

Sadami TOMISIGE and Jiro MATUDA

ワイヤ放電加工機は金型加工に広く使用されている工作機械である。しかしながら、金型加工におけるコストダウンや高精度化を実現するためには、使用する加工機の高機能化とその性能を十分に使いこなす利用技術の向上が不可欠である。本研究は、この利用技術の向上及び改善を行うのに必要な合理的かつ客観的な加工条件評価手法を開発するものである。

実験は、プラスチック成形金型加工におけるワイヤ放電加工工程を想定し、種々の加工条件とその結果得られた加工特性の関係を新しい概念である品質工学的観点から評価検討した。

得られた結果は次のとおりである。(1)品質工学的な考え方を利用することによって作業標準の設定や加工工程改善のための加工条件の評価が可能となった。(2)解析に用いたSN比の加法性を利用して加工特性ごとにSN比を高くする加工条件の組合せを客観的に見つけることができた。

1. はじめに

プラスチック成形品が各方面に使用されるに従って、それに使用する金型は簡易型から高精度型まで多種多様なものが要求されるようになってきた。金型メーカーはこのようなニーズに対応するため、NC加工機をはじめとした設備の導入を行っているが、ワイヤ放電加工機はキャビティ加工や型彫り電極の加工に威力を発揮することから広く導入されているNC工作機械である。しかしながら金型加工におけるコストダウンや高精度化を実現するためには、高機能加工機械の導入もさることながら加工機の持つ機能を十分に使いこなす利用技術の向上が不可欠になってくる。

本研究は、この利用技術の向上を目的として、

ワイヤ放電加工の加工条件と加工特性の関係について品質工学的観点から検討し、加工条件の最適化を試みたものである¹⁾。

2. 実験方法

ワイヤ放電加工における加工特性は粗さ、寸法、精度、加工部の真直度、コーナ部のだれ、加工面の変質層、更には加工速度などあげられるが、これらに影響を及ぼす原因は数多く存在する。それを整理したものが図1である。しかし、これらすべての関係について調べることは不可能に近く、また、無意味であるから、本研究では加工速度(加工コストに最も関係する特性)と加工面粗さ(加工精度に関係する特性)についてのみ検討することにした。それでも、この2者に影響を及ぼす因子が多数あるので、実験因子を絞り込まなくてはならない。選択にあたっては実際の加工現場において作業者がコントロールでき、しかも経験的に

*生産技術部

**工業技術院計量研究所

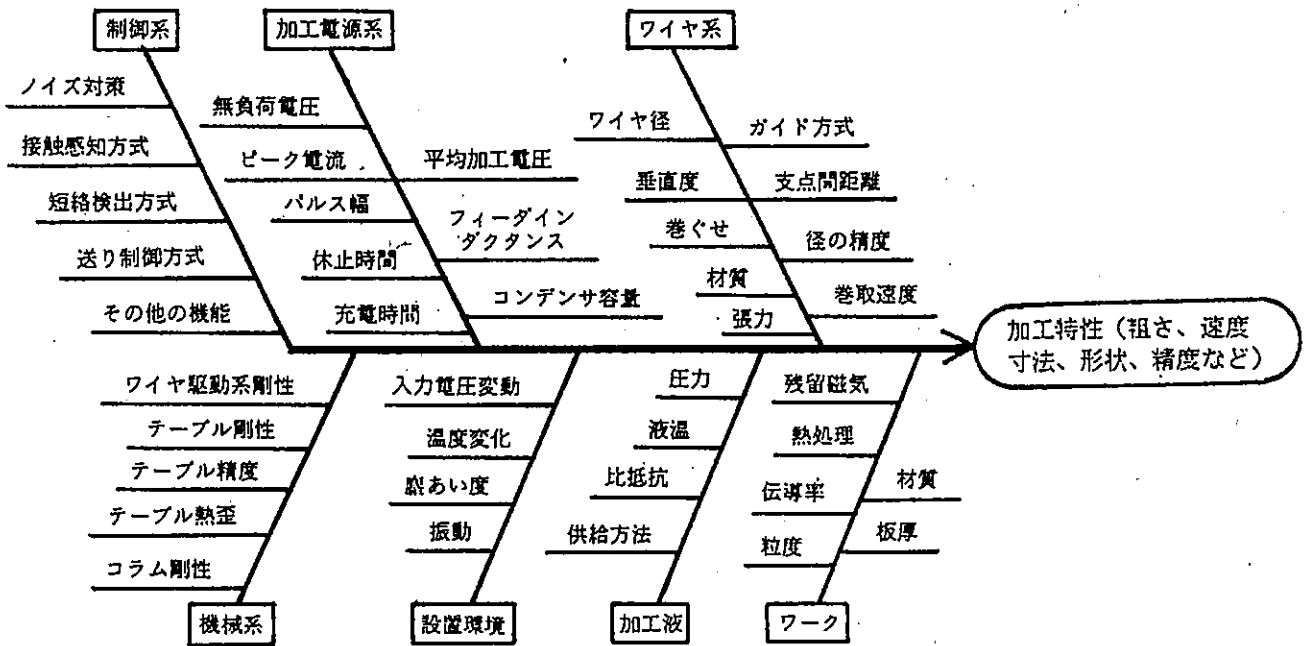


図1 ワイヤ放電加工の加工特性要因図

加工特性に対して影響が大きいと思われる加工条件とした。表1に実験因子と水準を示す。各水準の設定は制御盤上の目盛り (以下のノッチ番号) で行ったが、参考のため実験時に測定した絶対値を併せて表示している。

次に、この実験の特徴は積極的に誤差因子を設けていることである。実際の金型加工では加工形状、寸法、板厚などがさまざまに異なることから、誤差因子は加工板厚、加工形状 (経路)、試料の取付け位置の3因子とした。このことは前述の誤差因子が変化しても、なおかつ加工特性が優れている条件を見つけだすことが、最適化技術において重要と考えたからである²⁾。すなわち、誤差因子を積極的に取り上げることによって実験結果の再現性を強化したものと見える。

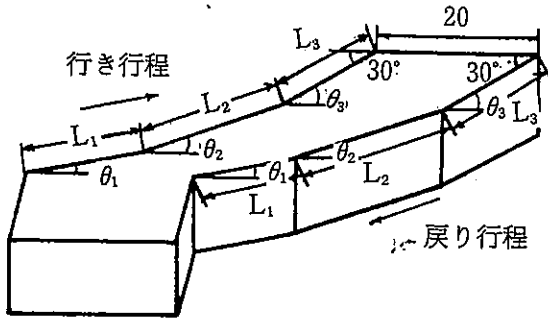
実験材料は、金型材料として広く使用されているSKD11 (L250×W300×T16 or 20) を真空焼き入れ (HRC59~61) したものである。加工形状は実際の金型形状に合わせて決めるべきであるが、ここではモデル的に加工長さや角度についてそれぞれ3水準設定し、その組合せによって得られる32通りの形状について実験した。その1例を図2に示す。

加工工程の改善や開発などを目的として実験す

表1 実験因子と水準

制御因子 L_{18} へ割付け	水準値			単位
	1	2	3	
加工液水質 A	8	12	—	mA
加工液流量 B	8	6	4	l/min
無負荷電圧 C	3 78.5	4 82.5	5 87.1	ノッチNo V
加工セッティング D	5 19.5	7 20.4	9 30.7	ノッチNo A
休止時間 E	6 8.09	7 9.36	8 10.8	ノッチNo μ s
平均加工電圧 F	50	47	44	V
ワイヤ張力 G	5 5.88	6 7.06	7 10.3	ノッチNo N
ワイヤ速度 H	7 7.0	6 8.7	5 10.7	ノッチNo m/min

誤差因子 L_4 へ割付け	水準		単位
	1	2	
加工板厚 O	16	20	mm
加工形状 (経路) P	順	逆	—
試料の取付け位置 Q	中央	端部	—



寸法精度因子	水準	1	2	3
加工長さ (L, mm)		15	30	45
角度 (θ, deg)		5	10	15

図2 加工形状

る場合、関係する因子が多数になることから実験因子がどうしても多くなる。本実験でも制御因子が8個、誤差因子が3個で合計11個の実験因子となり、従来の逐次実験方法では実験効率の面から問題を残す。このような場合に威力を発揮するのが直交表による実験である。制御因子についてはL₁₈の直交表、誤差因子についてはL₄の直交表を使用した。したがって、実験は両者の直積18×4の72通りの異なる加工条件の組み合わせで加工したことになる。表2に実験因子の割付けを示す。

実験に使用したワイヤ放電加工機は三菱電機(株)製(DWC-90PF-CNC、加工電源G10F、制御装置W5F)のシステムである。なお、電気条件の実測値を得るためワイヤ放電加工機に電気特性測定装置(電流プローブ、増幅器、電源、オシロス

表2 制御因子と誤差因子の直交表への割付け

		L ₁₈								L ₄			
因子		加工液水質	加工液流量	無負荷電圧	セッティング	休止時間	平均加工電圧	ワイヤ張力	ワイヤ速度	因子	加工板厚	加工形状	試料取付位置
No.		A	B	C	D	E	F	G	H	No.	O	P	Q
1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2		1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
3		1	1	3	3	3	3	3	3	3	2	1	2
~~~~~													
17		2	3	2	1	3	1	2	3	4	2	2	1
18		2	3	3	2	1	2	3	1				

数字は水準を表す。

コープ)を装着し、測定した。

### 3: 実験結果及び考察

#### 3.1 加工特性と解析方法

加工速度は加工物の板厚や加工形状が変化することから、1分間当りの加工面積(mm²/min)として測定した。また粗さについては、加工で得られたパンチをワイヤ進行方向とその直角方向について触針式形状測定機によって測定した。

このようにして得られた加工特性が誤差因子によって、どのように変動するか検討するため直交表L₁₈の実験番号ごとに分散分析を行った。その1例を表3に示す。なお、プール誤差は各誤差因子と残差についてまとめたものである。

加工特性として取り上げた粗さと加工速度について考えると、この2者の数値は性格が本質的に違うことに気づく。すなわち、粗さは仕上がり精度や後工程の都合からRmaxの小さい方(数値として小さい)が望ましいが、反対に、加工速度は加工コストの面から速く(数値として大きい)、しかも工程管理上ばらつきが小さい方が望ましい。一般に、このような加工特性を品質工学上、前者を望小特性、後者を動特性と呼んでいるが、その解析には次式に示すSN比を指標として検討する³⁾。SN比を求めるための手順は次式のような⁴⁾。

- 1) 望小特性のSN比

$$\eta_1 = 10 \log \frac{1}{\bar{V}_T} \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

- 2) 動特性のSN比

表3 SN比を求めるための分散分析表 (L₁₈のNo1 R_{max}: μm²)

要因		平方和	自由度	分散
平均	m	1274.49	1	1274.49
加工板厚	O	0.64	1	0.64
加工形状	P	0.04	1	0.04
取付位置	Q	2.25	1	2.25
プール誤差	e'	2.93	3	0.98
合計	T	1277.43	4	319.36

$$\eta_2 = 10 \log \frac{\frac{1}{r}(S_m - V_e)}{V_e} \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

ただし、 $V_T$  は表 3 の全分散、 $S_m$  は平均値の効果、 $V_e$  はプール誤差の分散、 $r$  は有効除数である。

このようにして求めた SN 比が、制御因子によってどのように変動するか検討するため、更に求められた SN 比を新しい特性値として直交表  $L_{18}$  について分散分析を行った。結果は表 3、4 に示す。効果の判定には自由度が少ないことから寄与率  $\rho$  を用いた。このような解析を行うことにより制御因子の影響の度合を客観的に判断することが可能となる。

### 3.2 加工条件の最適化

寄与率の大きな制御因子について水準ごとの SN 比の傾向がどのようになるか調べるため、水準ごとの平均値を求め、グラフにしたものが図 3、4 である。縦軸に SN 比、横軸に制御因子と水準を示す。粗さについていえば、SN 比が大きく(マイナスが付いているので数値が小さくなる)なるに従って全分散  $V_T$  が小さくなることから、 $R_{\max}$  が小さくなり望ましい傾向にあることを示している。一方、加工速度では SN 比が大きくなるに従って加工速度自身が、大きくなるとともにばらつきが小さくなり望ましい傾向になることを示している。このように SN 比は本来 2 元的な評価を 1 つの数値で表わすことを特徴とする。

結果については、ほぼ実験前の予想と一致した

表 4 望小特性の SN 比の分散分析表

(dB²)

要 因		平方和	自由度	分 散	寄与率 (%)
加工液水質	A	1.853682	1	1.853682	3.3
加工液流量	B	0.550538	2	0.275269	0.8
無負荷電圧	C	0.046351●	2	0.023175	—
加工セッティング	D	50.127434	2	25.063717	90.4
休止時間	E	0.392325●	2	0.196162	—
平均加工電圧	F	0.336825●	2	0.168412	—
ワイヤ張力	G	0.497846	2	0.248923	0.7
ワイヤ速度	H	0.247646●	2	0.123822	—
プール誤差	e'	2.271388	28	0.081121	4.8
合計	T	55.300892	35		100.0

ただし、プール誤差 e' は●印と残差をプールしたものである。

表 5 動特性の SN 比の分散分析表

(dB²)

要 因		平方和	自由度	分 散	寄与率 (%)
加工液水質	A	0.923893●	1	0.923893	—
加工液流量	B	241.884323	2	120.942161	7.1
無負荷電圧	C	143.771707●	2	71.885853	—
加工セッティング	D	291.182012	2	145.591006	9.4
休止時間	E	71.581883●	2	35.790941	—
平均加工電圧	F	612.309100	2	306.154550	25.1
ワイヤ張力	G	383.956776	2	191.978388	14.0
ワイヤ速度	H	209.866140	2	104.933070	5.5
プール誤差	e'	303.045180	7	44.720740	38.9
合計	T	2052.243535	17		100.0

ただし、プール誤差 e' は●印と残差をプールしたものである。

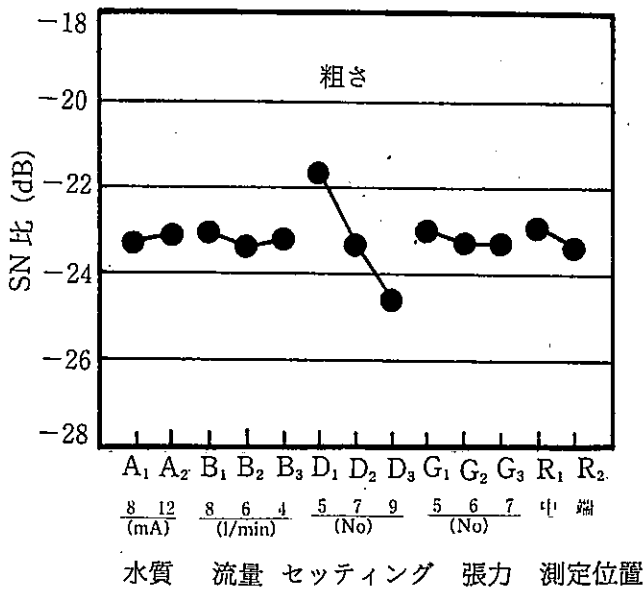


図3 SN比と制御因子の関係

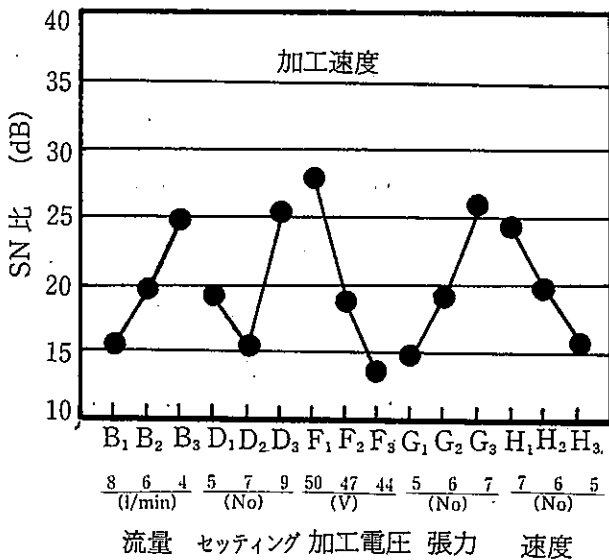


図4 SN比と制御因子の関係

ことから、SN比による解析の妥当性は満足できるものであった⁵⁾。ところが、実際の加工においては粗さを小さくする場合、加工条件の1つだけを制御することはなく、複数の加工条件を同時に制御して粗さをコントロールすることが多い。このとき必要なことは実験によって得られたデータから最適な加工条件の組み合わせ（最適化条件）を推定することである。すなわち、SN比の加法性を利用して、SN比が最も高く、しかも安定した加工条件を推定することである。粗さにおいてSN比が

高い水準は図3からA₁、B₁、D₁、G₂である。その推定値は次式によって求める。

$$\bar{\mu}_1 = A_1 + B_1 + D_1 + G_2 - 3\bar{T} \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

ここで $\bar{T}$ は粗さのSN比の総平均値である。計算の結果、推定値は-20.9dBとなった。これを誤差の標準偏差( $\sigma_e$ )で表すと11.1 $\mu\text{m}$ となる。全体の平均値が-22.8dB ( $\sigma_e = 13.8\mu\text{m}$ )であるから、最適化条件は平均的な加工に対して1.9dBの利得が生じ、標準偏差では2.7 $\mu\text{m}$ 向上することが分かった。

次に、加工速度の最適加工条件は図4からB₃、D₃、F₁、G₃、H₁である。したがって、推定式は次式のようになる。

$$\bar{\mu}_2 = B_3 + D_3 + F_1 + G_3 + H_1 - 4\bar{T} \quad (\text{dB}) \quad (4)$$

計算の結果、推定値は48.0dBとなった。同様に平均条件と比較すると平均値が20.3dBであるから、平均的な加工に対して27.7dBの利得が生じる。これを分かりやすく誤差の標準偏差( $\sigma$ )と比較すると約1/24倍になり、ばらつきが減少し、安定した加工になる。次に、加工速度の実測値では最適化条件が41.7 $\text{mm}^2/\text{min}$ となり、平均的な加工が22.1 $\text{mm}^2/\text{min}$ であることから、最適化することによって加工速度が約2倍になることが分かった。

以上から、このような実験と解析を行なうことによって合理的かつ客観的なワイヤ放電加工の加工条件評価と最適化の推定が可能である。

## 5. おわりに

金型加工技術の確立には加工機（ハード的側面）の改良と、その機械の能力を発揮させる利用技術（ソフト的側面）の開発が必要であり、両者のバランスが図られることによってはじめて高精度、高能率の加工が達成される。本研究は、後者の観点からワイヤ放電加工条件を評価し、最適化条件の推定を試みたものである。このような考え方は作業標準の設定や加工工程の改善を行なう場合の有力な手法となりえるものと思われる。

最後に、本実験を進めるにあたり工業技術院計量研究所力学部長矢野宏博士、同所計測情報研究室田中健一博士から懇切なる指導をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 富重定三、松田次郎：ワイヤ放電加工における加工の評価(2)―放電電気特性による加工精度の検討―昭和63年度精密工学会春季大会論文集第2分冊、(1988)
- 2) 松田次郎、富重定三：品質工学によるワイヤ放電加工機の性能評価、計量研究所報告 Vol.39、No.3、(1990)
- 3) 田口玄一：実験計画法(上)(下)、(1979)、丸善
- 4) 矢野宏：計測管理の実際、34、(1986)、(株)工業調査会
- 5) 斉藤長男：ワイヤカット放電加工技術、日刊工業新聞社、130、(1987)

# 接地電位および接地電流の波形観測と周波数解析

— 電磁ノイズ対策技術に関する研究 —

上田 直行*

## Waveform Observation and Frequency Analysis of Grounding Electric Potential and Grounding Current

— Studies on Countermeasure Technology of Electro Magnetic Noise —

Naoyuki UEDA*

マイクロプロセッサなどの集積回路が搭載された電子機器のノイズ対策において、接地（アース、グラウンド、コモンとよばれることもある）のありかたが、古くて新しい問題を提起している。接地の目的と方法は、対象とする機器によってそれぞれ異なる。本研究は、当センターの電気設備をモデル（対象）として電気設備技術基準で定められた接地と、コンピュータなどの機器との関係について検討した。測定箇所は、屋外キュービクル・既設電気室・電子機械分館とし、それぞれについての接地電位および接地電流を測定した。その結果、接地電位差/電流は $1V_{P-P}/150mA_{P-P}$ などが得られた。波形は、両者とも基本波 $60Hz$ と第3・5の高調波でほぼ形成されていた。電位と電流の位相差は、約 $270^\circ$ であった。交流だけでなく、直流分も検出された。これらの電位/電流は、常時一定ではなく、過渡変動が観測された。また、キュービクルと分館とでは、測定値が異なった。これらのことから、接地の電位や電流は不安定であり、電子装置にとっては、単独接地や非接地がノイズに強いことがわかった。

### 1. はじめに

電磁ノイズの影響により、電子装置が誤動作や誤表示などの異常を発生する原因は、大別して伝導ノイズと放射ノイズの侵入が考えられる。一方、両者に大きく関係し、ノイズ対策上最もウエイトの高いものとして、接地をいかにとるかがポイントとなる。

接地の基本的な考え方は、基準となる電位をとることすなわち $0V$ の点を設けることであり、これから派生的に電力では人身の安全のため、エレ

クトロニクスではシステムの安定動作のために使われている。

現在の接地環境は、コンピュータをはじめとする様々な機器が接続されているため、接地電位や接地電流が発生する可能性が極めて高い。これを裏付けるように、当センターの毎月の定期点検でも $100mA_{rms}$ を越える接地電流が報告されている。しかし、それ以上の具体的データは、文献調査でもあまり報告されていない。そこで、当センター内の電力システムに関わる接地の状況について、定量的に把握するために実測を行った。測定場所は、屋外キュービクル、既設電気室および電子機械分館内とした。また測定項目は、接地電位差および

*電子部

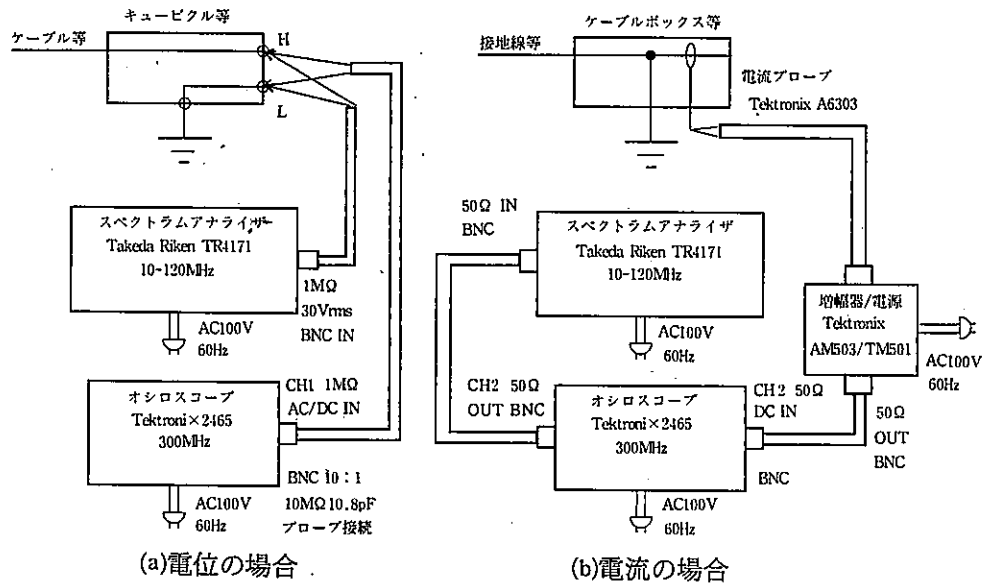


図1 接地電位/電流の測定方法

接地電流とした。内容は、オシロスコープによる波形観測およびスペクトラムアナライザによる周波数解析とした。

## 2. 測定方法

接地電位および接地電流の測定は、つぎの方法で行った(図1)。

### 2.1 接地電位の測定方法

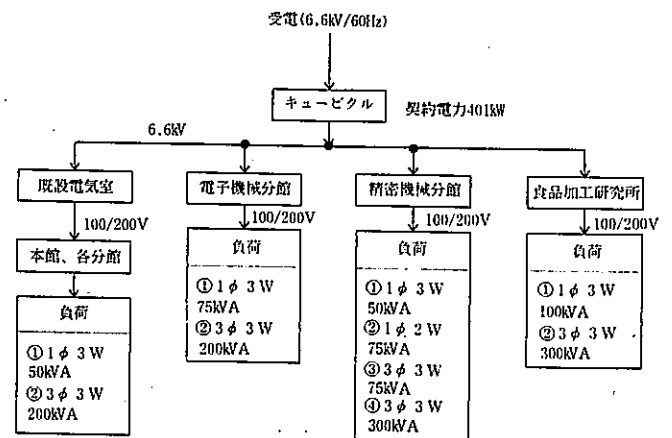
時間領域での電位の波形観測は、アナログ式オシロスコープ(Tektronix製2465型)で、該当個所にプローブを直接接続した。周波数領域での波形解析は、スペクトラムアナライザ(Takeda Riken製TR4171型)を使って、同様にプローブを接続した(図1(a))。記録は、すべてポラロイドカメラにより撮影した。

### 2.2 接地電流の測定方法

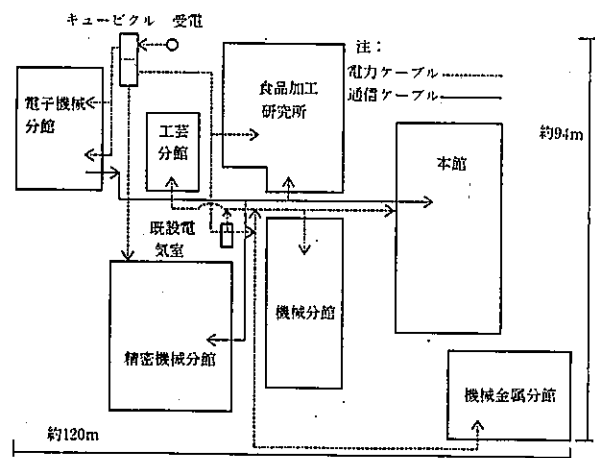
電流の検出は、電流プローブ(Tektronix製A6303型)を使った。このプローブの電圧を増幅(増幅器/電源 Tektronix 製AM503型/TM501型)し、オシロスコープへ入力した。このオシロスコープの出力を、スペクトラムアナライザへ入力した(図1(b))。これ以外の測定方法は、前記に準拠した。

## 3. 測定条件

図2に、商用電源引き込みから負荷配電までを



(a)電力系統図



(b)配置図

図2 受電/配電形態

示す。

負荷の種類や接続状態などの内的条件と、静電気・電磁波・雷サージなどの外的条件により、接地の電位や電流は大きく左右される。したがって、これらの諸条件を決定して測定を行うのが理想的ではあるが、現実には不可能に近い。そこでここでは、図2(a)に示すように、電力系統と負荷容量を明らかにし、各部署の負荷が正常運転状態にあると仮定した上で測定した。図2(b)は、この電力系統と対応する建物配置とケーブルの敷設経路を示す。

#### 4. 測定結果および考察

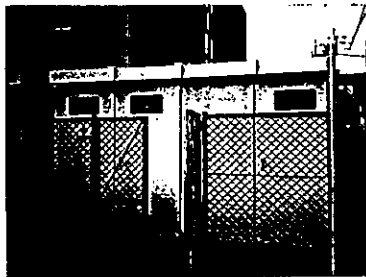
##### 4.1 キュービクルでの測定 (図3)

図3(a)にキュービクルの外観を示す。

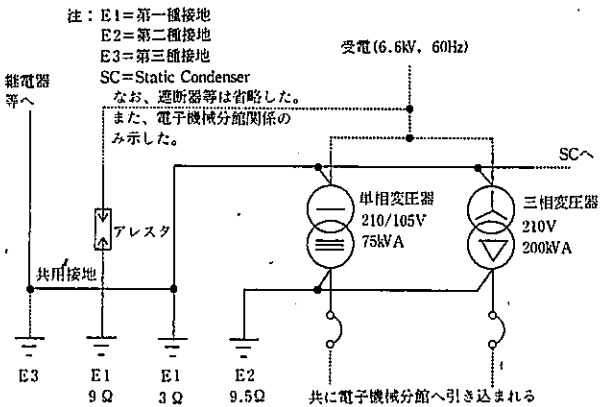
図3(b)にキュービクル内の接地の種類と接地線の接続状態を示す。

ここで、接地については、次の略号をもって表すものとする。

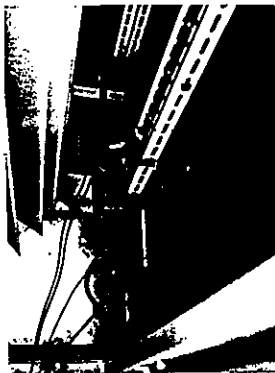
- E1=第一種接地
- E2=第二種接地
- E3=第三種接地



(a)外観



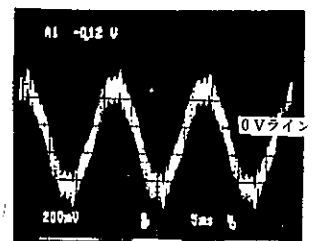
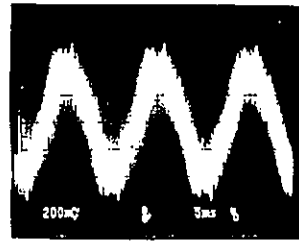
(b)接地系統



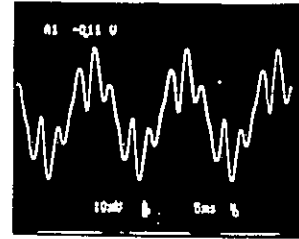
(c)接地付近



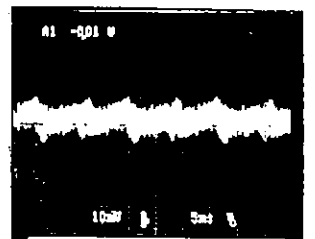
(d)単相変圧器



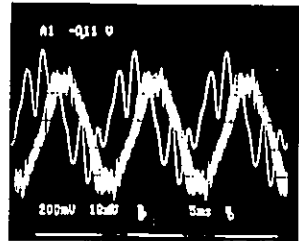
(e) E1 (アレスト)・E2間電位波形 (ACモード) (f) E1 (アレスト)・E2間電位波形 (DCモード)



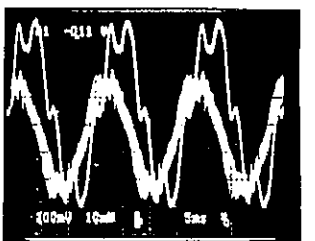
(g) E3線電流波形



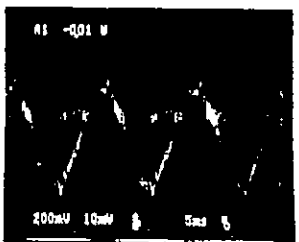
(h) 単相変圧器接地相電流波形



(i) E1 (アレスト)・E2間電位/E3線電流波形



(j) E1 (変圧器1次)・E3間電位/E1+E3電流波形



(k) E1 (変圧器)・E2間電位/3相変圧器 E2相電流波形

注：CRT目盛り  
 電圧 (Y軸) = 全て200mv/div  
 時間 (X軸) = 全て5ms/div  
 電流 (Y軸)  
 h, k = 10mA/div  
 j = 20mA/div  
 g, i = 50mA/div

図3 キュービクルでの測定



#### 4.1.1 接地電位差の測定 (波形観測のみ)

図3(c)に接地系統の測定場所を示す。

E1 (アレスタ用) と E2間の電位差の波形を図3(e)および図3(f)に示す。この図や測定時の様子から、以下のことがわかった。

- 1) 接地電位は、OV にほぼ等しいのではないかと予想に反して、約 $1V_{p-p}$ が観測された。
- 2) 波形は、時間的に一定な直流に近いのではないかと予想していたが、実際にはサイン波か三角波に近い波形となった。これは、受電が6.6KVのサイン波であることから、この影響が非常に大きいことを意味している。
- 3) 波形の周期は、60Hz電源に同期していることがわかった。これも、受電の60Hzがそのまま影響していることを裏付けている。
- 4) 波形が少し複雑になっているのは、若干の高調波が基本波に重畳していることを意味している。
- 5) 図3(f)から、約 $-100mV$ の直流電圧が重畳していることがわかる。
- 6) 図3(e)および図3(f)の比較から、両方ともほぼ同じ時間に測定したにもかかわらず、約200mVの差があるのは、時間的に変動していることを意味している。
- 7) 波形を詳細に観測すると、小さな過渡変動も認められた。これは、前記の変動も含めて、空調などの負荷変動や、コンピュータなどの高速動作と関係があると思われる。
- 8) 接地電位差が表れたということは、接地線には電流が流れている可能性が大いにある。
- 9) 精密機械分館用のE1、E2間の接地電位差波形は、電圧値が約 $6V_{p-p}$ のほかは、同様の結果が得られた。すなわち、異なる場所での異なる接地では、得られる電圧も異なってくる。

#### 4.1.2 接地電流の測定 (波形観測のみ)

図3(g)にE3線に流れる電流波形を示す。

この図や、測定時の様子から次のことがわかった。

- 1) 接地電位差の発生から予想されたように、接地線にも電流が流れている。
- 2) 電流値は、約 $250mA_{p-p}$ であった。これは、定期点検時の測定値に近い値となっている。

3) 電圧がほぼサイン波であったため、インピーダンスが抵抗と仮定すると、電流もサイン波が予想される。結果は、電圧よりも複雑で、基本波+第3高調波+第5高調波位で占めている。これも、受電の影響と思われる。

- 4) 波形周期は、60Hzであった。同じく受電の影響と思われる。
- 5) 接地電位と同様に、接地電流にも直流分が重畳しており、その値は約 $+10mA$ 以上であった。
- 6) 時間による変動がみられた(過渡変動を含む)。これも、負荷の量や変動に起因すると思われる。

図3(d)に75KVA・210/105V単相変圧器を、図3(h)にはそこでの接地相に流れる電流波形を示す。すなわち、変圧器二次側単相3線ケーブル接地相(E2と接続)を測った。この場合、次のことがわかった。

- 1) 電流値は約 $20mA_{p-p}$ で、前記の値よりは一桁小さかった。これは、E3が高圧側E1と共用であるのに対して、E2低圧側であるために誘導分が小さいと考えられる。
- 2) 波形は、三角波に近いものとなった。
- 3) 波形周期は $60Hz \times 2 = 120Hz$ であった。
- 4) その他の現象は、前記とほぼ同じであった。

#### 4.1.3 位相差の測定 (波形観測のみ)

図3(i)は、E1 (アレスタ用)・E2間接地電位差と、E3線接地電流との波形を示す。これから、電圧と電流の位相差は0ではなく、ピーク値間で約 $4ms = 約90^\circ$ ずれている。一般に電圧値を基準にとれば、電流は約 $270^\circ$ 位相遅れが生じていることになる。この位相差は、負荷のインピーダンスと関係しているようである。すなわち、負荷の抵抗・コンデンサ・コイルの使用状況で位相進みや遅れが生じる。

図3(j)はE1 (変圧器一次側用)・E3間接地電位差と、E1(変圧器一次側用)+E3線合成電流との波形である。この場合も、ピーク間の位相差は、約 $90^\circ$ であるが、電流の位相遅れは、約 $90^\circ$ であり、この点は前記の場合と異なっている。また、電流波形もやや異なっている。これは、E1とE3の合成電流であるため、その影響がでているものと思われる。電圧は、前記アレスタ用E1・E3間電位差とほ

ほぼ同じであった。

図3(k)は、E1(変圧器一次側用)・E2間接地電位差と、200KVA/210V 三相変圧器二次側接地相(E2線と接続)電流との波形である。この場合、電流が電圧より約90°位相が遅れている。波形や大きさは、前記の電位差と単相変圧器一次側接地線電流と同じ傾向を示している。

この他にも測定したが、電圧についてはほぼ同じであった。電流については、合成電流の場合は、やや複雑な波形となった。

#### 4.2 既設電気室での測定 (図4)

図4(a)に、既設電気室の外観を示す。

ここでは、接地電流の波形観測のみ行った。

図4(b)に、測定する単相変圧器50KVAを示す。

図4(c)にこの変圧器二次側接地相の電流波形を

示す。値は約5mA_{p-p}で、キュービクルの変圧器での最小値よりも小さい。波形は、こきざみでランダムなものとなっており、特定するのは困難であるが、波形周期は60Hzであり、大部分は1kHz程度までの高調波がのっているものと思われる。

他の変圧器も測定したが、同様の結果であった。ここでの接地は、キュービクルと独立にとってある。

図4(d)に、配電盤裏でのE2線電流測定の様子を示す。

図4(e)に、このE2線の定常時の電流波形を示す。

図4(f)に、このE2線の過渡時の電流波形を示す。

ただし、ここでいう定常時/過渡時とは、この電気室の外部3m位の位置に冷凍機(三相200V、圧縮機1.5KW、送風機35W×2)が停止状態(定常時と対応)か運転状態(過渡時と対応)かで区別する。この2つの図を比較すると、次のことがわかる。

- 1) 定常時は、約25mAであったものが、過渡時には約70mAと約3倍近く大きくなった。このことは、負荷によって、接地電位や電流が大きく影響を受けることを示している。
- 2) 波形も大きく変化した。すなわち、定常時はやや複雑な波形をしていたが、過渡時には、サイン波に近い波形となった。これは、定常時の波形に冷凍機によって発生する波形が重畳されたものと解釈できる。
- 3) 過渡時の電圧の発生は、冷凍機のE3の電位が上昇し、これが電気室のE2にまわりこんで電位を上昇したものである。また、冷凍機と電気室の距離が短かったために、より大きい値が出たと考えられる。逆の見方をすれば、ノイズの発生源から遠距離の所に該当する機器があれば、ケーブルのインピーダンスに比例して低減効果は大きいといえる。
- 4) その他は、前記の電流波形と同様の結果が得られた。

別の接地線についても測定したが、冷凍機の影響がほとんどないものもあった。これは、接地線がたくさん分岐しているため、影響のないところ

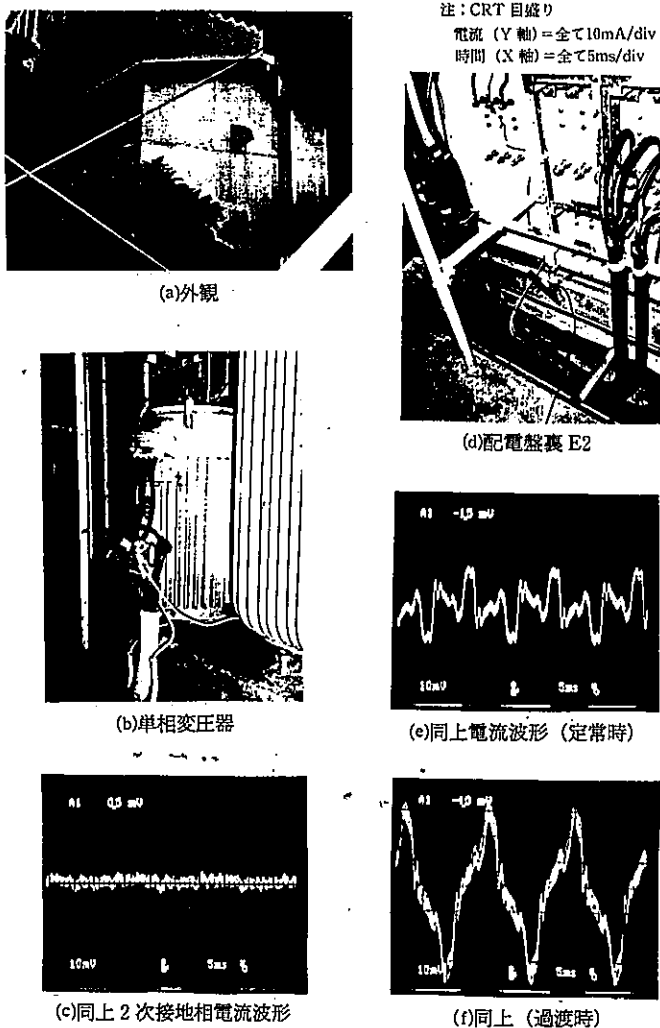


図4 既設電気室での測定

もあったと思われる。また、波形と大きさが異なる以外は、前記と同様の結果となった。

### 4.3 電子機械分館での測定 (図5)

図5(a)に、負荷側になる電子機械分館の外観を示す。

図5(b)に、この分館の接地板(又は棒)の埋設状態を示す。

#### 4.3.1 接地端子盤での接地電位差の測定 (波形観測のみ)

図5(c)に、この分館の接地端子盤を示す。

図5(d)に、この端子でのE1対E3間の接地電位差を示す。この接地電位差は、ほぼ0Vであった。直流分もなく、これまでの測定で最もよい結果が出た。これは、前述のキュービクルが6.6KVの高圧の環境下にあったのに対し、200Vおよび100Vまでしかないので、小さい値となったと考えられる。

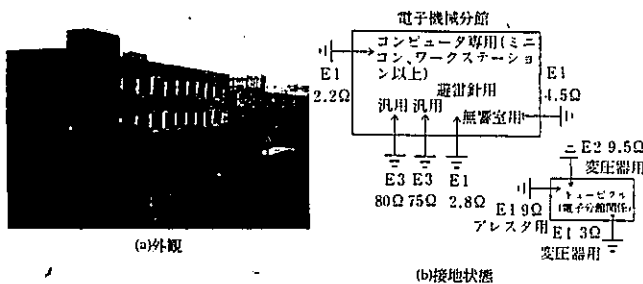
この他に、E1対他のE3やE3対E3間電位差も

測定を行ったが、60Hzに同期した数mVか又は0Vであった。ただし、前記の分も含めて、輝線の幅が大きいことからノイズすなわち高周波領域での高調波が重畳しているようである。

#### 4.3.2 コンピュータ室分電盤の接地電位差、電流の測定 (波形観測のみ)

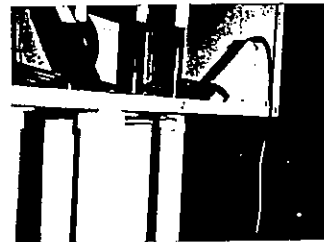
図5(e)にコンピュータ室の分電盤を示す。

図5(f)に、ここでの接地電位・電流波形を示す。この図から、E1対三相200V交流電源接地相間の電位差は約45mV_{p-p}で、60Hz又は120Hzの周期波形であることがわかる。波形は、高調波が重畳しているようである。これはキュービクルでは見られないものである。ミニコンピュータやワークステーションにつながるE1線の電流は、キュービクルでの変圧器接地線電流波形とよく似たものとなった。これは、200Vの誘導の影響と思われる。電圧と電流の位相関係は、電圧のピークと電流のOAとがよく同期している。これは、電圧が電流に

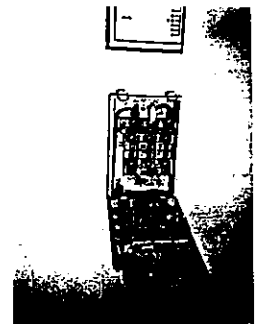


(a)外観

(b)接地状態



(k)ケーブルボックス



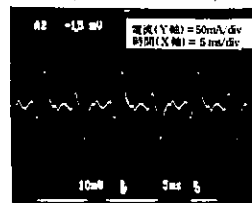
(j)3相200V用配电箱



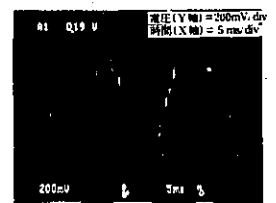
(c)接地端子盤 (E1・E3・E3)



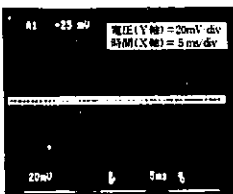
(e)コンピュータ室分電盤



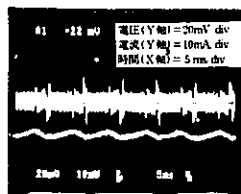
(h)E1線電流波形



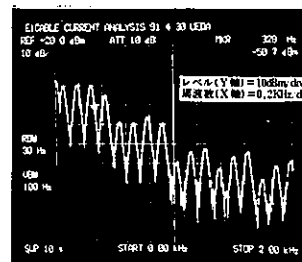
(k)E3・3相電源接地相間電位差波形



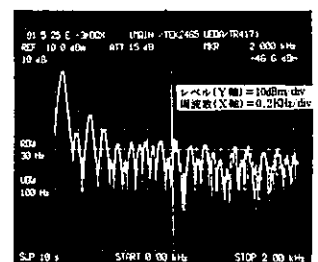
(d)同上E1・E3間電位差波形



(f)同上E1・電源接地相電位差/E3電流波形



(i)E1線電流周波数解析



(l)同上周波数解析

影響を与えていることを意味する。位相差も図3(i)と同様、約270°であった。

### 4.3.3 ケーブルボックスでの測定

図5(g)にケーブルボックスを示す。

#### 1) 波形観測

図5(h)に、E1線に流れる電流波形を示す。

この図から、次のことがわかる。

- 1) 波形が異なる以外は、前記と同様の結果が得られた。
- 2) 直流分も測定したが、その値は約-100mAであった。交流分が約150mAであることを考慮すると非常に大きい値である。これは、コンピュータなどの電源が直流であり、信号も

直流で動作しているために、この影響がでているものと思われる。

#### 2) 周波数解析

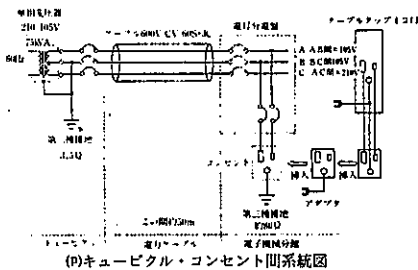
図5(i)に、図5(h)の周波数解析を示す。

これから次のことがわかった。

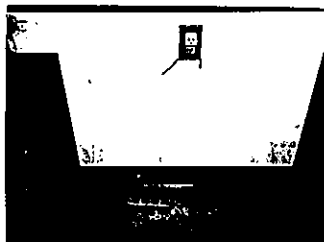
- 1) 基本波成分は、60Hzであった。これは、波形観測での周期60Hzとも一致する。
- 2) 高調波は、第三および第五が大きく影響していることがわかる。つまり、基本波+第三高調波+第五高調波でほぼこの波形が成り立っている。ちなみに、第七高調波は5dBダウン、第九高調波以降は更に14dBダウンとなっている。



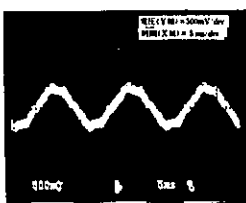
(h) 恒温恒湿器



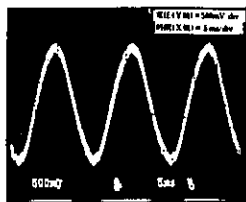
(g) ケーブル・コンセント間系統図



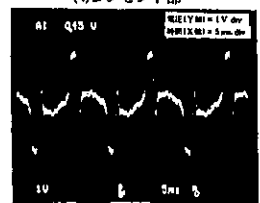
(i) コンセント部



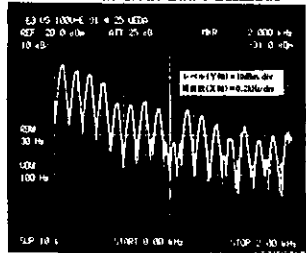
(m) ケース・3相電源接地相間電位差波形 (OFF時)



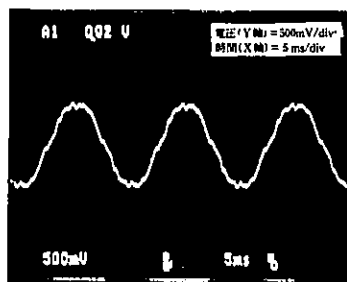
(o) ケース・3相電源接地相間電位差波形 (ON時)



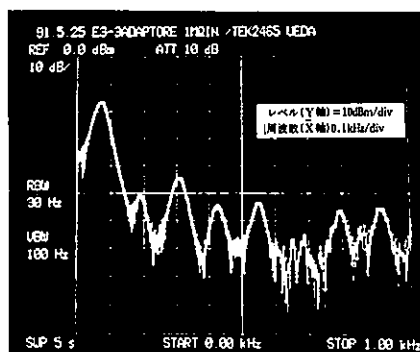
(r) E3・単相電源接地相間電位差波形



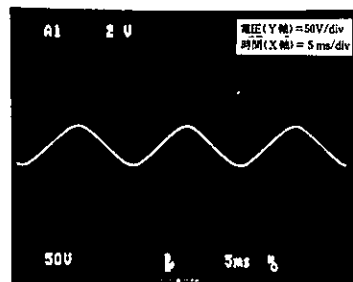
(s) E3・単相電源接地相間電位差周波数解析



(t) E3・アダプタ接地線間電位差波形



(u) E3・アダプタ接地線間電位差周波数解析



(v) ケーブルボックス接地線・接地相間電位差波形 (未接地)

図5 電子機械分館での測定

3) ケーブルボックスは、接地線のほかにキュービクルから立ち上がった三相200V・単相100Vのケーブルが混在しており、低周波領域ではこの電力線の誘導が影響している。また、高周波領域は、接地線につながるコンピュータなどの高速クロック・パルスおよびその高調波の影響が強い。これは、波形を詳細に観察すると、こきざみに振動していることからもうかがえる。

この他、E3線についても測定したが、同様の結果が得られた。

#### 4.3.4 配電箱での測定

図5(i)に、三相200V用配電箱を示す。

##### 1) 波形観測

図5(k)にE3対三相電源接地相間の電位差波形を示す。キュービクルでの測定とよく似た結果となっている。これは、キュービクルでの出力側ではほぼOVだったものが、約50m先の電子機械分館では、インピーダンスや誘導の影響で、大きくなったと思われる。

##### 2) 周波数解析

図5(l)に図5(k)の波形解析結果を示す。波形観測からも容易であるが、60Hzの基本波が大部分であり、次の第三高調波は31dBmも減衰し、第五高調波は、これから更に10dBmも減衰している。

#### 4.3.5 恒温恒湿器での実験(図5(m))

同じ型の配電箱に、恒温恒湿器(200V三相電源・60Hz・23A)を接続し、この機器による変動で電位がどう変化するかを実験した。恒温恒湿器がまだ停止状態の時は、E3と三相電源接地相間の電圧は、約1V_{p-p}の電圧がでている(図5(n))。ここで、E3はもちろん恒温恒湿器の筐体と接続されている。ところが、恒温恒湿器が動作をすると、約2.5V_{p-p}にも達した(図5(o))。これは、トランジスタやサイリスタなどのスイッチングにより発生していることがわかった。このような電圧が、接地線にまわりこんで、電位や電流に影響を及ぼしていることがわかった。これを避けるには、絶縁トランスの設置や筐体の独立接地などが考えられる。

この他、三相200V電源系統では、動力用配電盤での測定を行ったが、60Hz同期のキュービクルで

の結果とほぼ一致した。

#### 4.3.6 コンセントでの測定

図5(p)にキュービクルからコンセントまでの電源系統図を示す。

図5(q)に接地付きコンセント部を示す。

図5(r)に、E3対単相電源接地相間の電位差波形を示す。これをみると、我々が最も多く使うコンセントの接地電位差が4V_{p-p}でたということは、TTLと比較して、非常に大きいことがわかった。これは、キュービクル側では接地点に近いので電位が小さく、コンセント側ではケーブルのインピーダンスが大きく加算されるため、電位も大きくなると考えられる。

図5(s)は、図5(r)の周波数解析を行ったものである。やはり60Hzを中心に、180Hz・300Hz・420Hzで占めている。これは、単相三線式のケーブルを同一ピットや配管に敷設しているために、接地相の線が他の2つの100V60Hz電源線で、誘導を受けているためにこの電位差がでると考えられる。

図5(t)は、このコンセントに接地付きアダプタを挿入し、E3とアダプタ接地線間の電位差を測定したものである。

サイン波に高調波がのっている。また、大きさもコンセント部の測定より小さくなっている。

図5(u)は、図5(t)の周波数解析である。

やはりほぼ基本波で占められており、高調波の項は30dBm位減衰している。ただし、ここでのdBm値は、計測器の入カインピーダンスの関係で、実際より小さくなっている(電圧換算で1/10となっている)。

図5(v)は、前記アダプタに接地線付きテーブルタップを挿入し、この接地線と接地相間の電位差波形である。ただし、アダプタの接地線は、E3には接続していない。これはわずかな歪率はあるかもしれないが、約60V_{p-p}のサイン波であり極めて大きい値をとっている。そこで、アダプタの接地線をE3に接続したところ、コンセント部のみで測定した時の電圧値および波形と同様になった。

この他、異なる日に測定すると、電圧値および波形が異なった。また、同じ日の異なる時間でも同様の現象が観測された。さらに、瞬時の過渡変動も認められた。これらは、やはり負荷の接続状

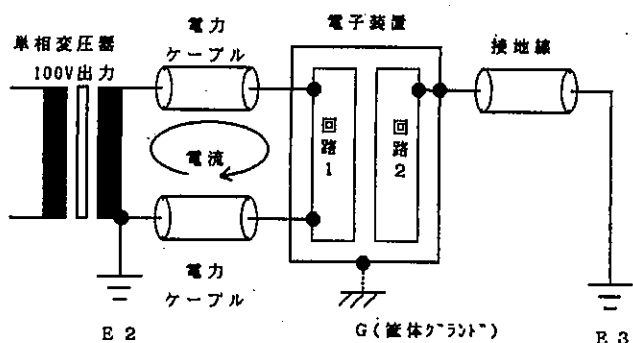
態や動作状態の影響と思われる。

なお、単相三線式100Vの配電盤も測定したが、コンセント部とほぼ同様であった。

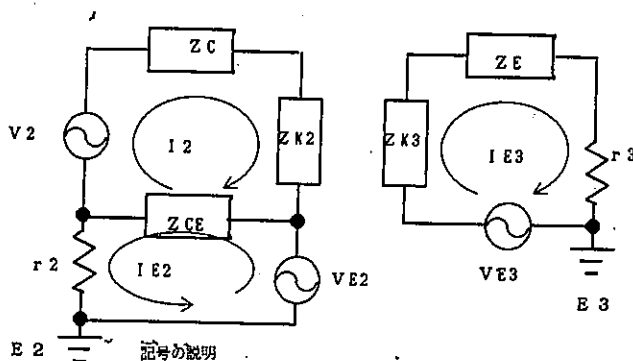
### 5. 接地系のモデル化

前章で述べた接地電位および接地電流の発生メカニズムについて検討する(図6)。

図6(a)は、電子装置と接地との関係を示したものである。通常、入力側は、電子装置の回路1へ100Vが入力される。出力側は、電子装置の回路2が筐体を介してE3へ接続されている。回路1と回路2とは、なんらかの形で絶縁を行わないと、入力側から出力側へノイズが侵入する恐れがある。通常は、電圧変換も兼ねて変圧器が使われるが、



(a)電子装置の接地系



記号の説明  
 E2=第二種接地  
 r2=第二種接地抵抗  
 V2=変圧器誘起電圧  
 ZC=ケーブルインピーダンス  
 ZK2=回路インピーダンス  
 VE2=誘導電圧  
 I2=回路電流  
 IE2=接地電流  
 ZCE=ケーブルインピーダンス

E3=第三種接地  
 VE3=誘導電圧  
 ZK3=回路インピーダンス  
 +筐体インピーダンス  
 ZE=接地線インピーダンス  
 r3=第三種接地抵抗  
 I3=接地電流

(b)接地系等価回路

図6 接地系のモデル化

高周波分の除去を考慮すると、絶縁タイプの変圧器を使用したほうが望ましい。回路2の方は、もしE3が近くにない場合は、未接続でも問題ない。また、回路2と筐体とを未接続とする方法もある。この2つの方法は、電気的にはかえって安定に動作すると思われる。一般のAV機器などは、この方法をとっている。しかし、医療機器など人体に直接ふれるような装置は、EI独立接地が望ましい。なお、筐体の材料がAlやFeなどの導体ではなく、プラスチックなどの絶縁性の高いものであれば、筐体の接地は不要である。パソコンや計測器類は、金属と絶縁体の複合材料でつくられている。

図6(b)は、図6(a)の等価回路である。E2側の記号を次のように定義する。

r2=第二種接地抵抗

ZCE=接地相ケーブルのインピーダンス

VE2=誘導電圧

IE2=接地電流

Vr2=接地電位

回路方程式から、接地電位と接地電流の関係は、次のようになる。

$$VE2 = (r2 + ZCE) \cdot IE2$$

$$IE2 = VE2 / (r2 + ZCE)$$

$$Vr2 = IE2 \cdot r2 = VE2 \cdot r2 / (r2 + ZCE)$$

なお、ZCEを流れる電流は、回路電流I2とこのIE2の和又は差となる。

同様に、E3側についても記号を以下のように定義する。

r3=第三種接地抵抗

ZE=接地線のインピーダンス

ZK3=回路2のインピーダンス

IE3=接地電流

Vr3=接地電位

回路方程式から、次の関係を得る。

$$VE3 = (r3 + ZE + ZK3) \cdot IE3$$

$$IE3 = VE3 / (r3 + ZE + ZK3)$$

$$Vr3 = r3 \cdot IE3$$

$$= VE3 \cdot r3 / (r3 + ZE + ZK3)$$

実測での値や定数がわかれば、解が求まる。一例としてIE3=50mA、r3=90Ωとすれば、Vr3=4.5Vとなり、TTLレベル近くまで達してしまう

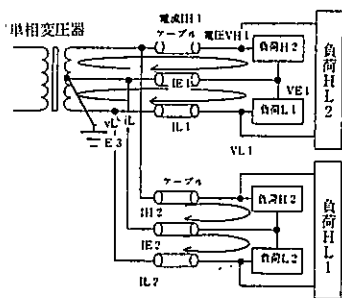
ので、E3へ接地する意味がなくなってしまう。最近ノート型パソコンの出現により、3V電源へさらに拍車がかかっており、ノイズ環境上ますます厳しい対応が迫られている。次に、単相三線接地相の電流について検討する(図7)。

図7(a)は、単相三線式で2系統の負荷に電力を供給している図である。負荷1について考える。接地相とH側/L側間電圧を $V_{H1}/V_{L1}$ 、H側/L側/接地相を流れる電流を $I_{H1}/I_{L1}/I_{E1}$ とする。H側負荷H1とL側負荷L1が完全に同じで、かつ各ケーブルや変圧器の電源が同じであれば

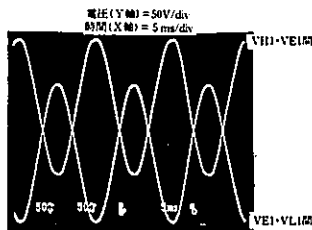
$$\begin{aligned} I_{H1} &= I_{L1} \\ I_{E1} &= 0A \\ V_{H1} &= V_{L1} \end{aligned}$$

となる。

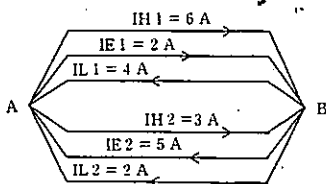
図7(b)は、電子機械分館側での電圧波形であり、前記の結果 $V_{H1}=V_{L1}$ を満足している。ただし、



(a)単相三線系統図



(b)単相三線線間電圧波形



(d)電流の等価回路

図7 接地相電流のモデル化

位相差は $180^\circ$ である。

図7(c)は、キュービクル側での電流波形である。これは、 $I_{H1} \neq I_{L1}$   $I_{E1} \neq 0A$ で、前記の仮定を満足していない。これは、次のように考えられる。

図7(d)は、図7(a)の電流についての等価回路である。

負荷2についても、H側/L側/接地相を流れる電流を $I_{H2}/I_{L2}/I_{E2}$ とする。負荷側B点について、キルヒホッフの電流則を適用すると、次の式ができる(A点でも同じ)。

$$I_{H1} - I_{L1} + I_{E1} + I_{H2} - I_{L2} - I_{E2} = 0$$

一例として、

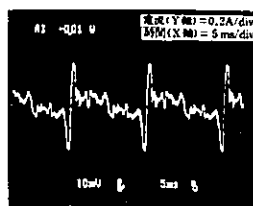
$$\begin{aligned} I_{H1} &= 6A \quad I_{L1} = 4A \quad I_{E1} = 2A \quad I_{H2} = 3A \\ I_{L2} &= 2A \quad I_{E2} = 5A \end{aligned}$$

このように、一般には負荷がアンバランスなため、接地相を流れる電流は0Aではないことがわかった。そして、この例のように、接地相電流が他の2つの相よりも大きい場合でもでてくることわかった。

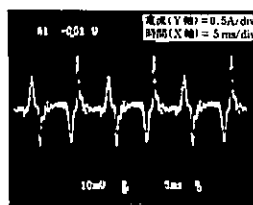
## 6. おわりに

これまで述べてきたことを要約すると、次のようになる。

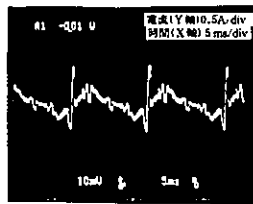
- 1) キュービクルでのE1(アレスタ用)対E2間接地電位差は、 $1V_{P-P}$ が測定された。波形は、ほぼ $60Hz$ サイン波の影響を受けた。
- 2) 電子機械分館のE1線に流れる接地電流は、 $150mA_{P-P}$ が測定された。波形は、電圧波形より複雑で、周波数解析により、 $60Hz$ サイン波および第3・5高調波でほぼ占めている。
- 3) 接地電位と接地電流の位相差は、電流が $270^\circ$ 又は $90^\circ$ 遅れである。これは、モータなどのコイル負荷がコンデンサ負荷よりもたくさん接続されているから、電流が電圧よりも遅れることを意味している。
- 4) 変圧器接地相電流は、 $20mA_{P-P}$ など小さい値となった。
- 5) 接地電位/電流とも、直流分が交流に重畳しており、それぞれ $-100mV/-100mA$ などであった。
- 6) 冷凍機や恒温恒湿器など負荷変動により、接地電位や接地電流が2倍以上増加する。



① H相 I_{H1}



② 接地相 I_{E1}



③ L相 I_{L1}

(c)単相三線線路電流波形

- 7) 測定場所により、接地電位／電流が異なる。つまり、キュービクルは、高圧受電の影響が大きく、負荷側の分館は低圧だから小さい。一例として分館での E3・E1間の電位差は、ほぼ 0V であった。
- 8) 接地電位／電流とも、過渡変動があった。
- 9) コンセント部は、 $4V_{P-P}$ の接地電位差を観測した。また、周波数解析の結果、 $60Hz$ を基本波に、 $3 \cdot 5 \cdot 7$ 高調波で占めていた。また、アダプタ部は、接地をしないと $60V_{P-P}$ にも達する。
- 10) 電子装置は、変圧器で入出力間を絶縁することにより、安定した動作が期待できる。また、中の回路は、筐体を介して E3に接続するのが原則であるが、場合によっては E3の接地をとらず、筐体だけのグラウンドか、あるいは筐体と回路を絶縁する方法もある。
- 11) 単相三線式の接地相は、一般に負荷がアンバランスで、複数のケーブルで分岐されているため、OA ではなく、常時約 2A の電流が流れている。なお、2つの電圧は、位相差が $180^\circ$ ズレているほかは、 $300V_{P-P}$ で一致していた。
- 12) 接地系のモデル化は、回路方程式を基に、実測や抵抗などの定数がわかれば、誘導電圧の予測がある程度できる。
- 13) 接地電位／電流が発生し、かつ変動するのは、接地線に数多くの負荷が接続されるからであり、これを避けるには、単独の接地に 1 装置のみを接続するのが理想である。これにより、直接他の機器からの誘導は回避できるが、他にも接地は施されているのであるから、接地間の電位差による接地電流の影響は、大地を介してでてくる。これを避けるには、接地間の距離をできるだけ離して、接地電流が流れないようにするのも一方法である。また、単独接地により、その機器から出るノイズが他の機器へ与える影響は、接地系では直接的にはない。
- 以上は、当センターに限定した測定結果ではあるが、他の場所で測定しても、類似した結果が得られるのではないかと推定できる。
- 今後の予定として、実験室レベルでの接地に関する評価試験を行う。具体的には、エミッタ接地増幅回路の電源バイアスについて、波形観測および周波数解析を行う。



# 回路シミュレーションを用いたアナログ PCB の設計と解析

## —アナログ PCB シミュレーションシステムの開発—

石松 賢治*

### Design and Analysis of A Analog Printed Circuit Board with Circuit Simulation —Development of Analog Printed Circuit Board Simulation System—

Kenji ISHIMATU*

アナログ PCB 回路設計をより効果的に行うために、コンピュータ上で動作するアナログ回路シミュレーションプログラムである SPICE¹⁾ を使った統合化システム「アナログ PCB 回路シミュレータシステム」を開発し、報告した²⁾。このシステムは、これまで貧弱であった SPICE の入出力をグラフィック化したモジュールと、トランジスタ等の半導体のパラメータデータ³⁾ をアナログ PCB 設計者に提供するシステムである。

本システムをアナログ PCB 設計に適用することにより、高品質の回路設計ができ、設計期間の短縮が可能になり、疑似的な回路設計を経験することで初心者への教育にも効果があると期待できる⁴⁾。

本研究では、開発したアナログ回路シミュレーションシステムの概要と、本システムを使用したトランジスタを用いたエミッタ接地回路のシミュレーションを行ない、本システムの有効性を検討したので報告する。

#### 1. 緒 言

トランジスタやダイオード等の非線形特性を有する半導体素子を含んだ回路の正確な解析は困難なため、従来のアナログ PCB 設計は、簡易な等価回路を用いて設計し、数回の試作やテストを繰り返し特性を調べ、カットアンドトライで設計及び回路定数の設定を行っているのが現状である。

コンピュータ上でアナログ回路を解析するアナログ回路シミュレータは、非線形な回路を正確に解析できることから、アナログ回路シミュレータをアナログ PCB 設計に適用することで、高品質の回路設計ができ、設計期間の短縮が可能になる。本システムでは、アナログ回路シミュレータと

して現在最も著名な SPICE³⁾ (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) を使用することにした。

SPICE をアナログ PCB 設計に適用するには、いくつかの問題がある²⁾。これらの問題を解決するために、次のような特徴を持つアナログ PCB 回路シミュレーション統合化システムを開発した。

- 1) 回路図をグラフィック入力する。
- 2) SPICE の解析結果をグラフィック表示する。
- 3) 半導体素子のパラメータをライブラリとして提供する。
- 4) パーソナルコンピュータ上で動作する低価格のシステムにする。

本システムのシミュレーション結果が実際のアナログ PCB 回路の特性に近ければ、本システム

*電子部

を使用することで、設計工程の初期の段階で回路の検討及びおおまかな定数を設定することが可能になる。

本報告では、はじめに開発した本システムの概要について述べる。次に、本システムを用いてトランジスタを用いたエミッタ接地回路のシミュレーション結果と実際の回路の測定結果を比較し、本システムの有効性を検討する。

## 2. システム概要

### 2.1 システム全体構成

図1は、本システムの構成図である。本システムは、開発した4つの主モジュール（回路エディタ、カードエディタ、素子パラメータ連結、グラフィック表示モジュール）と SPICE で構成される。

SPICE は、入力カードを読み込みシミュレシ

ョンし、シミュレーション結果として出力カードを出力する。この入力カードは、回路エディタ、カードエディタと素子パラメータ連結モジュールで作成する。図2の回路図より作成した入力カードは、図3である。出力カードは、SPICE のシミュレーション結果であり、グラフィック表示モジュールでグラフィック表示される。

### 2.2 回路エディタモジュール

回路エディタモジュールは、回路図を作成し回路記述カード等の出力を行う。

このモジュールでは、ユーザーが、部品配置、ネット入力、部品名入力や編集をグラフィックで行う。この時、ネット番号（図2のネットに付けられた番号）は、システムが自動的に番号を付けるためユーザーは、ネット番号の入力をする必要がない。次に、回路図のチェック機能を使い、回路をチェックする。チェック機能では、孤立点(接

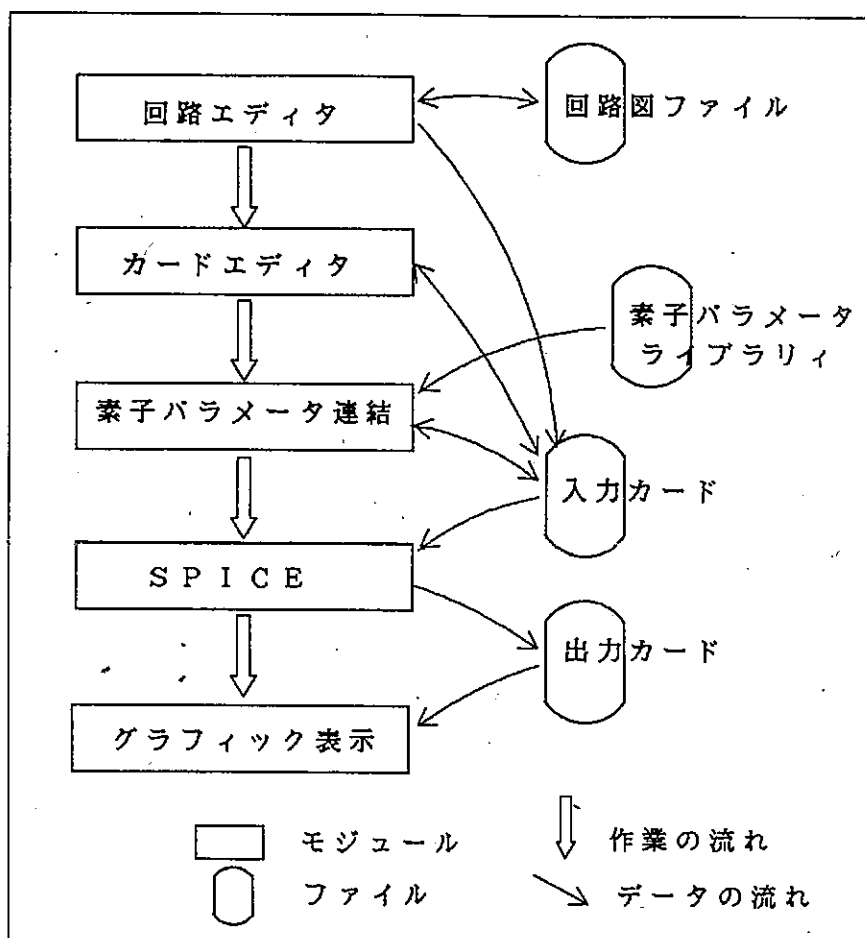


図1. システム構成図

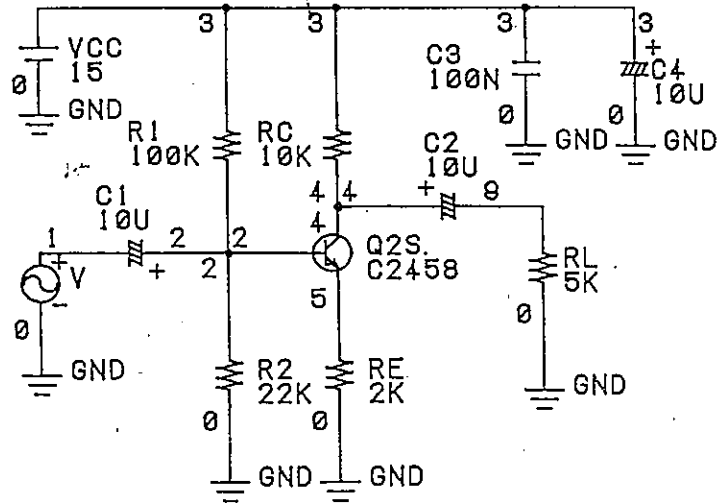


図2. 実験で用いた回路 (エミッタ接地増幅回路)

```

001 GROUNDED-EMITTA-AMPLIFIER
002
003 C1 2 1 10U
004 C2 4 9 10U
005 C3 3 0 100N
006 C4 3 0 10U
007 Q2S 4 2 5 C2458
008 R1 3 2 100K
009 R2 2 0 22K
010 RC 3 4 10K
011 RE 5 0 2K
012 RL 9 0 10MEG
013 V 0 1 AC 1 PULSE(0 -.1V .1MS 1PS 1PS 1MS 2.2MS)
014 VCC 3 0 5
015
016 .AC DEC 10 0.1HZ 100MEGHZ
017
018 .MODEL C2458 NPN(Is=14.76F BF=398.9 NF=989.2M VAF=158.9 IKF=145.7M
019 + ISE=843.1E-18 NE=1.384 BR=9.223 NR=984.0M VAR=14.10 IKR=7.452
020 + ISC=2.391F NC=974.0M RB=98.79 RE=270.4M RC=54.87 EG=1.11 XTI=3.00
021 + CJE=11.71P VJE=654.8M MJE=340.2M CJC=5.743P VJC=410.7M MJC=323.4M )
022
023 .END
    
```

図3. エミッタ接地増幅回路の入力カード

続されていない部品端子やネット)、電圧源の並列接続、電流源の直列接続、部品名の重複、部品の値の範囲等をチェックする。

回路図は、回路図ファイルとして保存でき再利用することができる。回路図をプロッタ出力したものが図 2 である。

図 2 の回路図より入力カードの出力されるデータは、コメントカード(図 3 の 1 行目)、回路記述カード(図 3 の 3 行目から 14 行目)、終了カード(図 3 の 23 行目)である。

### 2.3 カードエディタモジュール

カードエディタは、編集の入力カードを読み込み、制御カード(図 3 の 16 行目、解析の種類や解析範囲を指定するカード)を編集し、修正された入力カードを出力するスクリーンエディタである。制御カードの設定は、文法が煩雑であり、かつ間違いを起こしやすい。このモジュールでは、SPICE の文法を表示するヘルプ機能や文法をチェックする機能を持っている。

### 2.4 素子パラメータ連結モジュール

素子パラメータ連結を実行すると、入力カードを読み込み、半導体素子名やサブサーキット名を取り出し、必要な素子パラメータ(図 3 の 18 行目から 21 行目)やサブサーキットをライブラリより読み込み、自動的に入力カードに挿入する。ユーザーが編集した素子パラメータやサブサーキットを優先的に使用できるように、既に入力カードに挿入されている素子パラメータやサブサーキットは挿入されない。

### 2.5 SPICE

SPICE は、作成した入力カードを読み込み、回路シミュレーションを実行し、結果を出力カードに出力する。本システムで使用したシミュレーションプログラムは、SSPICE⁵⁾である。

### 2.6 グラフィック表示モジュール

グラフィック表示モジュールは、出力カードを読み込み、シミュレーション結果をグラフィック表示する。グラフィック表示は、シミュレーション結果のデータの最大値や最小値を調べオートスケールで表示したり、拡大表示もできる。また画面に表示された解析結果をプリンタに出力することができる。(図 6～図 10)。

### 2.7 素子パラメータライブラリ

素子パラメータライブラリは、半導体素子のパラメータと OP アンプのサブサーキットが登録されている。SPICE で使用する半導体の素子パラメータは、カタログや規格表から作成するのは困難であり、また半導体の専門的な知識を必要とする。しかし、SPICE で正確に回路シミュレーションするには、半導体の素子パラメータを正確に指定する必要がある。このシステムでは、この半導体を測定し、パラメータを抽出して、素子パラメータライブラリに登録した。ここに登録している半導体素子は、同一型の複数個(約 10 個)を測定し、その平均から求めている。各素子の等価回路は、トランジスタでは Gummel-Poon⁶⁾モデル、JFET では Schichman と Hodges⁵⁾モデルを用いている。OP アンプの等価回路は、Boyle⁶⁾のモデルを用いている。なお現在登録されているデータは、ダイオード 41 種、トランジスタ 55 種、JFET 6 種、OP アンプ 3 種である。

## 3. 実験回路及び理論

実験で用いた初歩的な電子回路(図 2)である 1 段のエミッタ接地増幅回路(電圧増幅度 5 倍)⁷⁾について述べる。トランジスタ Q2S は 2SC2458 を使用している。C1 と C2 は結合コンデンサであり、C3 と C4 は電源の交流的なインピーダンスを下げるデカップリング・コンデンサである。また抵抗 R1 と R2 はトランジスタのベースの直流バイアス電圧を設定する抵抗であり、RC は電圧増幅を行う抵抗であり、RE はトランジスタの温度変化を吸収する抵抗である。

### 3.1 交流解析

この回路の交流増幅度  $A_v$  は、エミッタ電流 = コレクタ電流と仮定すると

$$A_v = \frac{RC}{RE} \dots\dots\dots(1)$$

である。

C1 と並列接続されている R1 と R2 の合成抵抗  $R1//R2$  はハイパス・フィルタになるので、低域カットオフ周波数  $f_{lc}$  は、

$$f_{lc} = \frac{1}{2\pi \cdot C1 \cdot (R1//R2)} \dots\dots\dots(2)$$

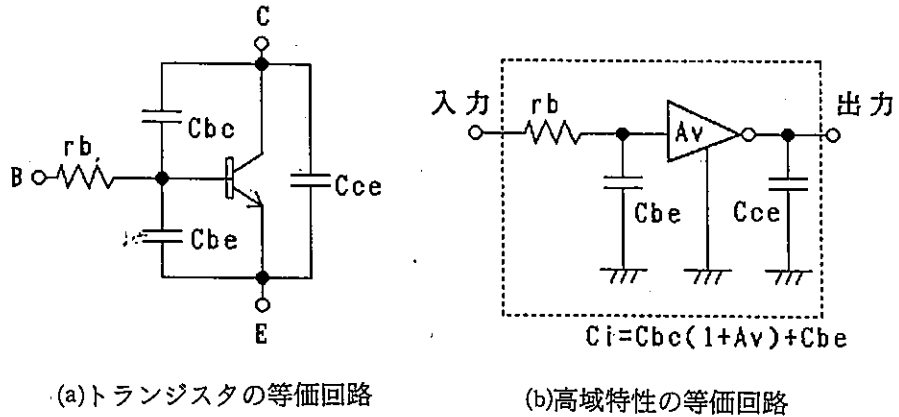


図4. トランジスタのミラー効果

高周波の領域では、図4(a)のようにトランジスタ内部容量 ( $C_{bc}$ : ベースコレクタ間容量、 $C_{be}$ : ベースエミッタ間容量、 $C_{ce}$ : コレクタエミッタ間容量) や抵抗分 (ベース抵抗) 等により、特性が劣化する。特に、ミラー効果により  $C_{bc}$  が見かけ上  $(1+A_v)$  倍になり、合成容量は、

$$C_i = C_{bc}(1+A_v) + C_{be} \dots\dots\dots(3)$$

とすると、図4(b)のベース抵抗  $r_b$  と容量  $C_i$  によりのローパス・フィルタによるので広域のカットオフ周波数  $f_{hc}$  は、

$$f_{hc} = \frac{1}{2\pi \cdot C_i \cdot r_b} \dots\dots\dots(4)$$

である。

3.2 交流増幅度の改善

交流増幅度は、式(1)より  $RC$  あるいは  $RE$  を変更すれば改善されるが、 $RC$  や  $RE$  をむやみに変えると直流バイアス状態が変化し、最大出力振幅が低下したり、バイアスが温度的に不安定になる。そこで、直流的なバイアスを変えずに、交流の利

得を上げるために、図5の回路を  $RE$  に並列に接続した。このときの  $A_v$  は、

$$A_v = \frac{RC}{RE//R_{IE}} \dots\dots\dots(5)$$

である。

4. 結果及び考察

4.1 エミッタ接地回路

本システムを用いて図2の周波数解析を行った結果が、図6から図8である。図6は電圧増幅度の対数を、図7は位相を、図8は出力端子での電圧の実数分と虚数分を表示したものである。

図2の交流特性を計算値、測定値及びSPICEシミュレーション結果を比較したのが表1である。なお計算値は(1)~(4)から求めた。電圧増幅度と高域カットオフ周波数は、簡易計算値よりシミュレーション結果のほうがより測定値に近い値であった。低域カットオフ周波数は、シミュレーション結果と簡易計算値とほとんど同じになった。なお低域カットオフ周波数の測定は、測定機器の測定範囲を越えたため測定できなかった。

簡易計算値よりシミュレーション結果のほうがより測定値に近いのは、簡易計算値はトランジスタの非線形な特性を無視しており、かつシミュレーション解析用いたトランジスタのパラメータは素子パラメータライブラリのデータを使用しているため実際の素子に近いものを使用したためであると考えられる。測定値とシミュレーション結

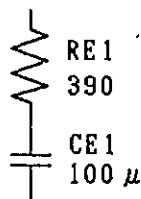


図5. 付加回路

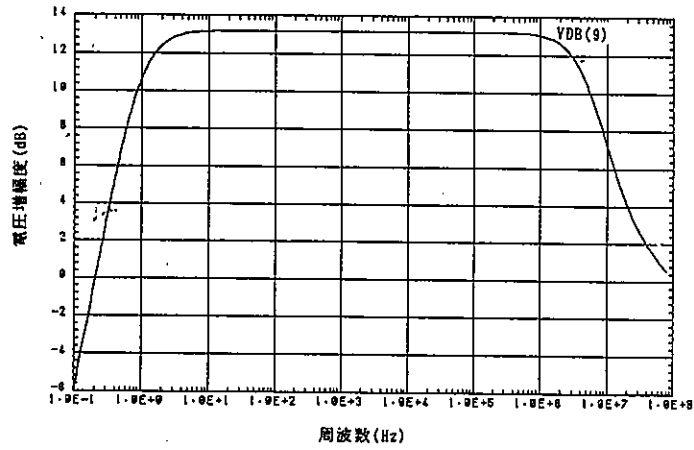


図 6. エミッタ接地回路電圧増幅度特性

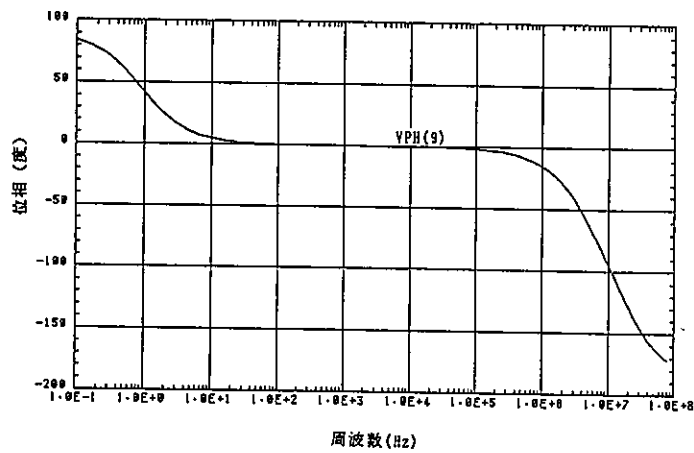


図 7. エミッタ接地増幅回路位相特性

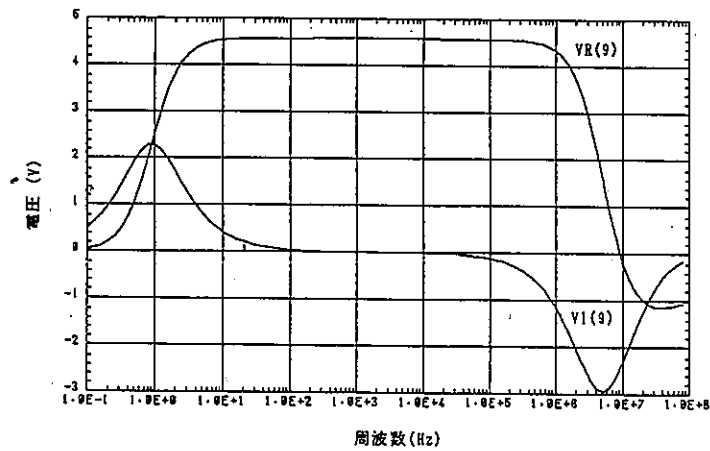


図 8. エミッタ接地増幅回路出力電圧特性

表1 エミッタ接地増幅回路周波数特性の結果

	計算値	測定値	シミュレーション
電圧増幅度 (dB)	14.0	12.8	13.2
低周カットオフ周波数 (Hz)	0.9	不可	0.91
高域カットオフ周波数 (MHz)	39.8	3.98	5.2

果の違いは、使用した電子部品の精度や配線の抵抗分と容量分等の要素が重なった結果と予想され、今度の検討課題である。

#### 4.2 交流増幅度を改善した回路

交流増幅度改善した回路の電圧増幅度のシミュレーション結果が図9である。電圧増幅度が13.2 (dB) から26 (dB) に12.8 (dB) 増加している。

この回路をシミュレーションするには、図2の入力カードに

RE1 5 8 390

CE1 5 0 100U

の2行を加えて実行するだけでよい。本システムでは、簡単な回路変更の検討は、容易に行うこと

ができた。

#### 4.3 トランジスタのミラー効果

トランジスタのミラー効果を本システムを用いて検討した。トランジスタのコレクタエミッタ間容量  $C_{ce}$  (図3では  $C_{JC}$ ) の値を5.743 (pF) を1 (pF) に変えて行ったのが図10である。この結果、高域カットオフ周波数が5.2 (MHz) が27 (MHz) になり、高域の特性が伸びている。 $C_{ce}$  が高域の特性を悪化させていることがわかる。本システムを使用することにより、実際の回路ではできないトランジスタの内部容量を変更したりすることで、トランジスタのミラー効果等を検討できる。

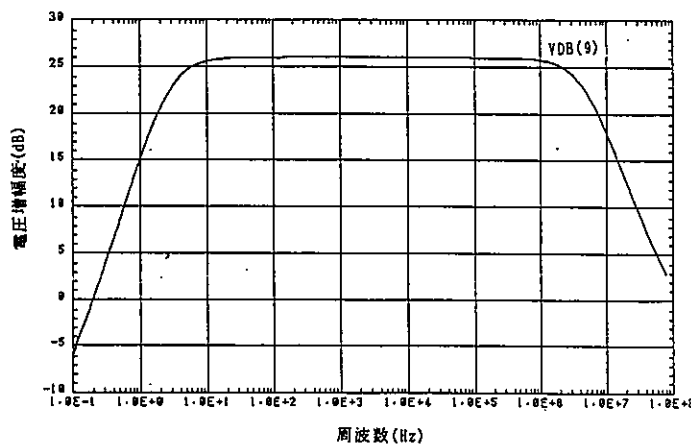


図9. 交流増幅度を改善した回路の電圧増幅度特性

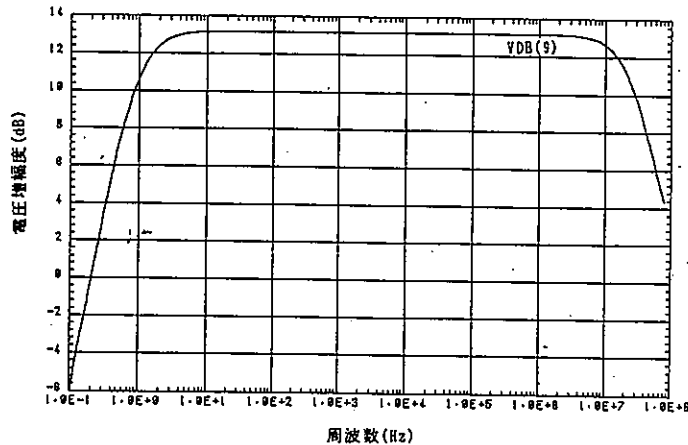


図10. トランジスタ内部容量を変更した電圧増幅度特性

#### 4.4 設計に要した時間

本システムを用いて図2の回路設計では、回路の検討、シミュレーション、回路を作成や測定等のトータル時間は、1.5日を要した。特に、シミュレーションの実行時間は約2～3分であり、実際の回路を測定する時間は約30分程必要とする。そのため、回路の設計変更や回路定数の設定が短時間で行うことができた。本システムを用いない一般的な設計では、回路の測定や回路定数の繰り返しが多くなるため、設計のトータル時間は約2～3日必要だと予想される。

#### 4.5 本システムの効果

従来の SPICE だけの場合を比較して、本システムを使用すると次のような効果があった。

- 1) 回路図が出力されるので、どんな回路をシミュレーションしているか第3者が容易に判断できる。
- 2) 入力カードの記入ミスがほとんどなかった。
- 3) シミュレーション結果をグラフィック表示できるので、短時間に回路の特性を検討することができた。

### 5. 要 約

開発したアナログ PCB 回路シミュレーションシステムを使い、実際のアナログ PCB 回路の設計を行ってみた。本システムを使ったシミュレーション結果は、一般に回路設計者が行う計算より実際の回路に近い値が短時間に得られる。本システムを使うことで、アナログ PCB では測定困難

なこと（例えば低域カットオフ周波数）でもシミュレーションすることができる。また、実際には検討できない内容（例えばトランジスタの内部容量の変更等）についても多角的に検討することができる。

これらのことから、本システムを使用することで、

- 1) 設計の初期段階であるいは電子部品がなくとも、回路の検討や定数のおおまかな設定ができる。
  - 2) 実際の回路測定を回路シミュレーションで置き換えることで、設計期間を短縮することが可能である。
  - 3) ただし、シミュレーション結果は実際の回路特性と一致しないので、実際に回路を作成し特性を測定する必要がある。
  - 4) 多角的にアナログ回路を短期間に検討でき、教育用としても充分実用的である。
- 等の効果が期待できる。

問題点としては、シミュレーション結果と実際の回路の特性が一致していないことである。これはコンデンサ等の非線特性が原因と考えられる。今後の課題として、この点を検討して行く。

### 参 考 文 献

- 1) L. W. Nagel; "spice2: A computer program to simulate semiconductor circuit", UCLA memorandum May 1970
- 2) 内田強、高浜隆弘、石松賢治他、"アナログ



- PCB シミュレーションシステムの開発”、  
地域技術活性化事業研究報告、1990、51-57
- 3) 石松賢治他、“アナログ PCB シミュレーション用データライブラリの構築”、地域技術活性化事業研究報告、1990、39-44
- 4) “これからは回路シミュレーション”、トランジスタ技術、1990年6月号、P388-458
- 5) “Spice user & reference manual”, Silicon, Aug, 1987
- 6) G. R. Boyle, B. M. Cohn, D. O. Pederson; “Macromodeling of intergrate circuit operational amplifiers”, IEEE journal of solid state circuits, Dec 1974
- 7) 鈴木雅臣、“トランジスタ回路の誕生”、トラ技 ORIGINAL、No. 1、1989

# 改質炭酸カルシウムのナイロンへの充てん効果

— 石灰石の高度利用研究 (第5報) —

永山 賛平*・内野 義登志*・末 永知子*

Effect on Filling the Nylon with Modified Calcium Carbonate  
— Studies on Advanced Utilization of Limestone (5) —

Sanpei NAGAYAMA* Yoshitoshi UCHINO* and Tomoko SUENAGA*

シラン系カップリング剤 (A1100) を用いて処理した重質炭酸カルシウムのポリアミド樹脂 (ナイロン12) への充てん効果および物性の評価を行った。

表面処理をすることにより、重質炭酸カルシウムの凝集を防ぎ、分散性が良くなり、結果的に物性値が向上した。処理剤濃度は、0.5%が最適であり、必要量以上の添加は、強度低下をひきおこす。また充てん物は、剛性は増加するが、樹脂特有の粘りがなくなりもろくなる傾向がある。添加方法はインテグラルブレンド法が適している。スラリー法では炭カルの再凝集をひきおこし、強度低下の原因となる。

## 1. はじめに

前報¹⁾で、重質炭酸カルシウム (以下「炭カル」と略) をチタネート系およびアルミネート系カップリング剤で処理し、ポリアミド樹脂 (ナイロン12) に充てんした物は、処理剤濃度が1%で、充てん率40%のとき良好な物性が得られることを報告した。

今回は、カップリング剤をシラン系に変えた場合、処理剤濃度および添加方法が物性値に及ぼす影響について検討した。

## 2. 実験方法

ベース樹脂：ナイロン12 (UBE 3014U)

炭カル：平均粒径 1.8 $\mu$ m

表面処理剤：シラン系カップリング剤 (A1100)

添加方法

スラリー法：フィラーを水中に分散させ、高速かく拌しながらカップリング剤を添加する

インテグラルブレンド法

：フィラーの添加前又は添加後にかく拌しながらカップリング剤を添加する

その他の実験装置および方法は前報¹⁾に準じて行った。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 表面処理剤の添加方法の検討

シラン系カップリング剤は、 $R'Si(OR)_3$ をもって示されるように2種類の官能基を有することがその特徴となっている。R'はアミノ基、メルカプト基、エポキシ基のような有機官能グループであり、ORはケイ素に結合しているアルコキシ基である。このアルコキシ基が加水分解してシラノールを生じ、炭カルの表面と反応する。

*材料開発部

このため、カップリング剤が加水分解するのに必要な時間およびフィラー中に均一に拡散するのに必要な時間を十分に取る必要がある。

そこで表1に示す方法で予備試験を行った。その結果を表2に示す。物性値を総合的に判断するとNO.1（スラリー法）NO.4（インテグラルブレンド法）の方法が良好だったので、充てん率40%での処理剤濃度の影響について検討した。

表1. 処理剤の添加方法

処理方法	炭カル 使用量(g)	A 1100 使用量(g)	溶 剤		ブレンド条件(min)	
			A1100(%)	溶剤量(g)	添加時間	かく拌時間
1.スラリー 法	1000	10	1	990	10	2日放置
2.インテグ ラルブレ ンド法	600	6	10	54	10	30
3.インテグ ラルブレ ンド法	600	6	100	0	10	30
4.インテグ ラルブレ ンド法	600	6	50	6	10	30
5.インテグ ラルブレ ンド法	600	6	75	2	10	30
6.インテグ ラルブレ ンド法	600	6	75	2	10	30
7.インテグ ラルブレ ンド法	600	18	75	6	10	30

溶剤：スラリー法 エタノール(4+6)  
インテグラルブレンド法 エタノール(3+7)

### 3.2 SEM 像の観察

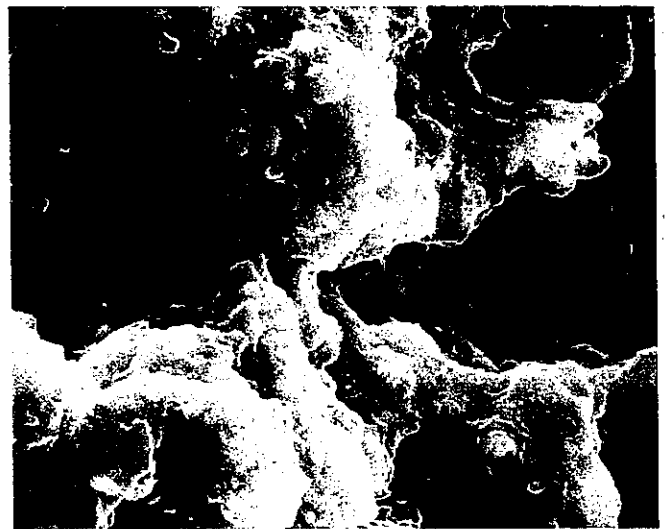
図1は引張破断後のSEM像である。アルミネート系およびシラン系共に炭カルの分散性は良好である。しかし樹脂と炭カルとの結合性は、アルミネート系が炭カル表面の一部分だけと結合しているように見えるのに比べ、シラン系では全体的に炭カルを包み込むような状態で結合しているように観察される。これはシラン系カップリング剤が反応性を持っていることによるものと考えられ、フィラー、樹脂双方との結合性が強いことを示している。

表2 予備試験結果

添 加 方 法 (No.)	曲 げ 強 さ Kgf/mm ²	曲 げ 弾 性 率 Kgf/mm ²	引 張 強 さ Kgf/mm ²	引 張 弾 性 率 Kgf/mm ²	衝 撃 値 Kgf·cm/cm	MI 値 g/10min
1	6.13	224	4.96	107	2.15	11.5
2	6.23	233	4.88	63.3	1.59	11.5
3	6.38	238	4.83	62.6	1.59	10.2
4	6.41	244	4.79	68.6	1.99	11.2
5	6.50	252	4.68	66.3	1.59	9.88
6	6.14	227	4.59	51.6	1.83	9.15
7	5.91	218	4.52	76.0	1.59	11.0
B1	4.07	118	4.23	55.6	2.00	19.9



アルミネート処理×2000



シラン処理×5000

図1. 引張破断後のSEM像

### 3.3 機械的強度

#### 3.3.1 曲げ強さ、曲げ弾性率

図2に曲げ強さと処理剤濃度との関係を示す。インテグラルブレンド法では0.5%処理充てん物が未処理の物に比べて強度が向上しているが、処理剤濃度が上がるにつれ強度は次第に減少している。スラリー法では傾向は同じであるが、強度的には未処理の物より劣っている。図3に示した弾性率との関係ではこの傾向はかなり顕著なものとなっている。このことはカップリング剤の処理濃度に最適濃度があることを示している。シラン系の場合フィラー表面を単分子膜で覆ったとき最大効果を発揮すると言われており²⁾必要量以上の処理剤が強度低下に影響しているものと考えられる。

#### 3.3.2 引張強さ、引張弾性率

図4に引張強さと処理剤濃度との関係を示す。インテグラルブレンド法、スラリー法とも処理した物は強度的に若干の増減はあるものの、未処理の物に比べてほとんど差がみられない。しかし図5に示した弾性率との関係では、インテグラルブレンド法は0.5%処理濃度で増加し次第に減少しており曲げ強さ（弾性率）の場合と同じ傾向を示している。

#### 3.3.3 衝撃値（アイゾット、ノッチ付き）

図6に衝撃値と処理剤濃度との関係を示す。インテグラルブレンド法、スラリー法とも若干の増減はあるものの未処理の物に比べて低い値を示している。

図1に示したSEM像をみると、シラン系カップリング剤で処理した物は破断面が金属の破断と同じような状態であることが観察される。つまりシラン系カップリング剤で処理した物は、剛性は増加するが樹脂特有の粘りがなくなりもろくなっているために、衝撃値が低下したものと考えられる。

#### 3.3.4 MI値（メルトインデックス）

図7にMI値と処理剤濃度との関係を示す。インテグラルブレンド法、スラリー法とも処理剤濃度が上がるにつれMI値は増加している。このことは、林田³⁾らがチタネート系カップリング剤を用いた実験で確認していることと一致している。つまり非ニュートン指数である流動性は、PA（ポリアミド）に比べて、PA-CaCO₃系で大いに減少し、PA-CaCO₃-シラン系でかなりよく回復している。これは炭カルと処理剤との結合物とポリマー分子との摩擦が炭カルとポリマー分子との摩擦

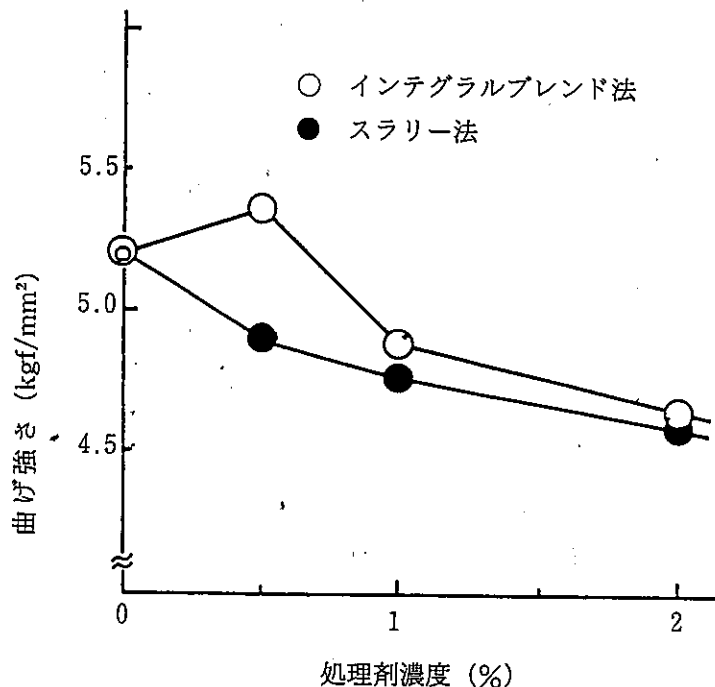


図2. 曲げ強さと処理剤濃度との関係  
炭カル充てん率 40%

より小さくなっているためと考えられる⁴⁾。

### 3.4. インテグラルブレンド法とスラリー法の比較

図2～6において、いずれの場合もスラリー法

がインテグラルブレンド法より低い値を示している。これは添加方法の違いによるものだと考えられる。スラリー法では処理剤添加後に再凝集をおこし集塊をつくっているためと考えられる。粒子

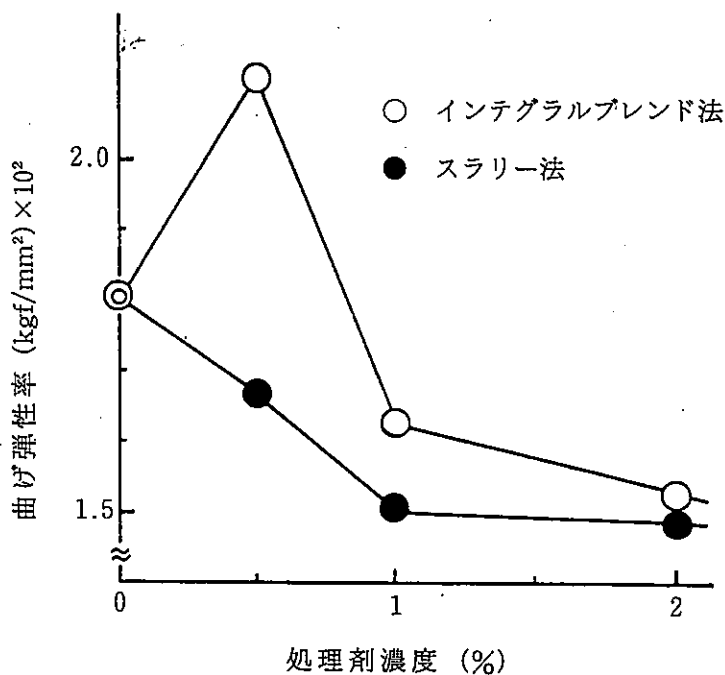


図3. 曲げ弾性率と処理剤濃度との関係  
炭カル充てん率 40%

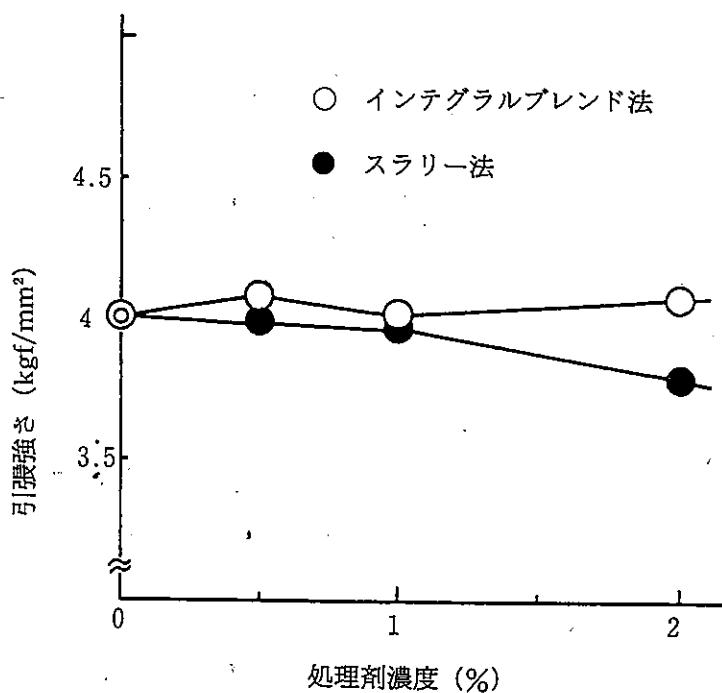


図4. 引張強さと処理剤濃度との関係  
炭カル充てん率 40%

の大きさは強度に大きい影響を与える⁵⁾。粒子が小さくなるにつれ強度は大きくなる。この現象は充てん剤の粒子が小さくなるにつれて、単位体積当りの界面の面積が増加するためと考えられる。

また、大きな空隙は小さい空隙よりも強度にとって有害であり、したがって濡れ消失が起こった後では充てん剤粒子が大きければ大きいほど空隙が大きくなるためだと考えられる⁵⁾。スラリー法の

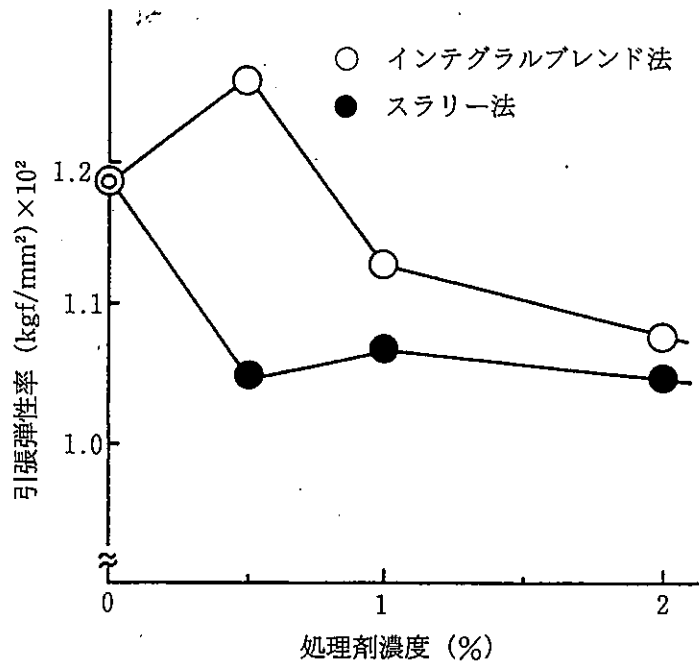


図5. 引張弾性率と処理剤濃度との関係  
炭カル充てん率 40%

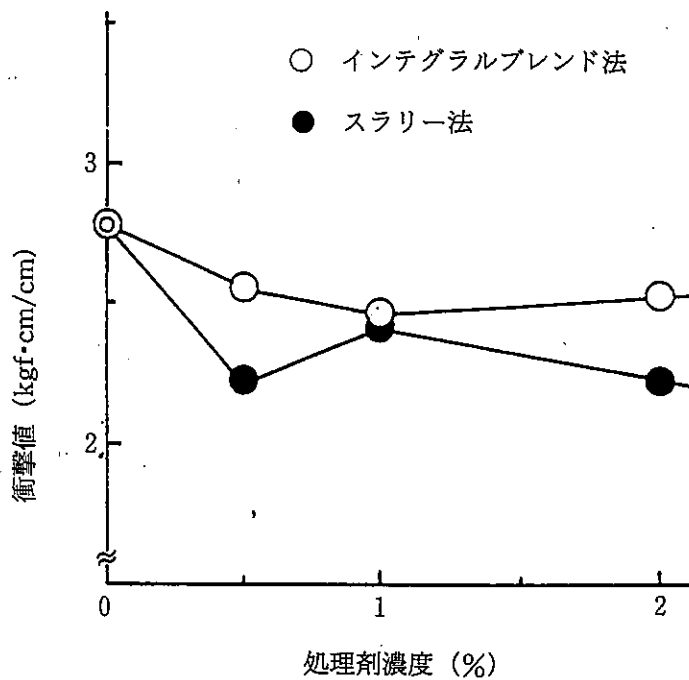


図6. 衝撃値と処理剤濃度との関係  
炭カル充てん率 40%

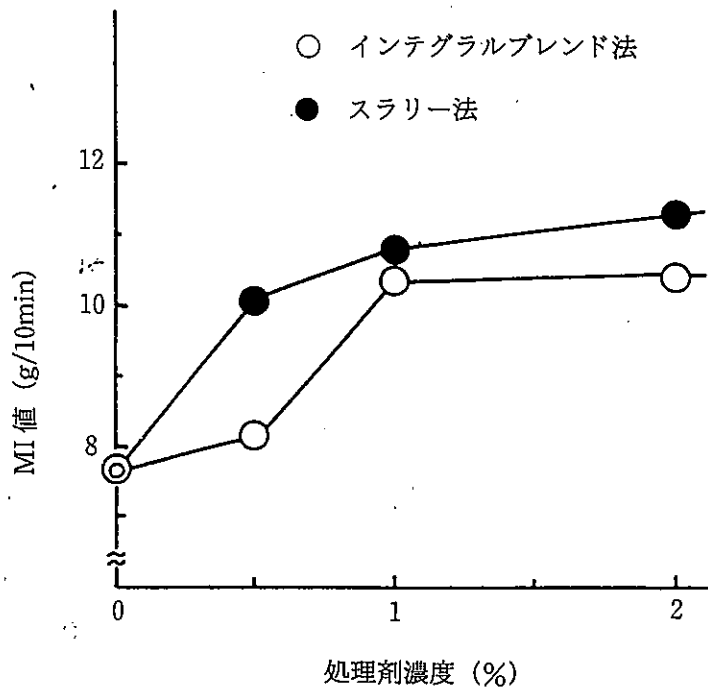


図7. MI値と処理剤濃度との関係  
炭カル充てん率 40%

欠点である集塊は、はじめの粒子より大きいので、分散した粒子を含む物（インテグラルブレンド法で処理した物）より弱くなっているものと考えられる。

#### 4. 要 約

- 1) シラン系カップリング剤で表面処理をすることにより炭カルの凝集を防ぎ、良好な分散を得、結果的によい物性値が得られることがわかった。
- 2) 処理剤濃度は0.5%が最適であり必要量以上の処理剤の添加は逆に強度低下を引き起こす。
- 3) シラン系で処理した炭カルを充てんした物は剛性は増加するが樹脂特有の粘りがなくなりもろくなる傾向にある。
- 4) 添加方法はインテグラルブレンド法が適している。スラリー法では再凝集をおこし強度低下の原因となる。

最後に、この実験に御協力をいただいた大電株式会社技術部の村地氏はじめ諸氏に対して深謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 内野義登志ほか2名：“改質炭酸カルシウムのナイロンへの充てん効果”、本誌、NO. 27 (1989)
- 2) 青木絢次郎：“カップリング剤の界面改質的展望”、ポリマーダイジェスト、p. 52~62 (1980)
- 3) Kensei HAYASHIDA, Tatsuo KANEI and Eiichi KAGOSHIMA : Department of Fiber Chemistry, p.223
- 4) 里見英一ほか3名：大阪府立工業技術研究所報告、NO.75 (1979)
- 5) L. E. Nielsen、小野木重治訳：“高分子と複合材料の力学的性質” 化学同人 (1988)

# 軽質炭酸カルシウムの合成

## — 石灰石の高度利用研究 (第6報) —

内野 義登志*・末 永 知 子*・坂 田 一 成*

### Synthesis of Light Calcium Carbonate

#### — Studies on advanced Utilization of Limestone (6) —

Yoshitosi UCHINO* Tomoko SUENAGA* and Issei SAKATA*

製紙用のフィラーとしての軽質炭酸カルシウム (以下軽質炭カルと略) を製造する目的で合成条件の検討を行った。軽質炭カルは、石灰石を焼成した生石灰を消化した消石灰を用い、これを水中に懸濁して石灰乳とし、炭酸ガスを吹き込んで合成する。このようにして得られた軽質炭カルの X 線回折や電子顕微鏡写真を撮影することによって、結晶の定性と、結晶の大きさ、形状等を調べた。石灰乳 (水800ml、消石灰80g) の温度を35°C、炭酸ガス流量250ml/min に制御することによって、製紙関係のワイヤーに適した磨耗度の小さい柱状又はイガ栗状のアラゴナイトを最も多く合成できることがわかった。

## 1. 緒 言

石灰のファイン素材化技術研究というテーマで、国の重要地域技術開発研究制度 (九州工業技術試験所主催) が昭和63年度より発足し、当センターもこれに参画し共同研究を行ってきた。研究期間は5か年計画で、本年は第3年度に当り前期までは重質炭カルの微粉碎物をプラスチック (ポリエチレン及びナイロン) に充てんする複合化研究を行った。後期に軽質炭カルの合成研究を開始した。

製紙用の充てん剤を製造する目的で県内産消石灰を水に懸濁し、石灰乳をつくり、これに炭酸ガスを吹き込んで軽質炭カルを得る実験を行った。従来は石灰乳液温度が20°C前後で行われカルサイトとアラゴナイト (同質異像) が得られている

が、まだ不明な点も多い。そこで15°Cから40°Cまで5°C間隔で液温を調整して、石灰乳濃度10%、水量を800ml、炭酸ガス流量を250、500、750、900ml/min とかえて合成反応を行わせた。反応の終点は山田ら¹⁾の方法に従って、導電率計が最小の値を示す点とした。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験装置

実験装置として東京理科機械製恒温水槽を用い、恒温水槽の温度調節には大洋科学工業製の温調ユニット T-2 H 型を用いた。

また、反応液の導電率及び温度の測定には京都電子工業製デジタル導電率計 CM-117 型を用い、反応液の導電率及び温度の測定記録には理化電機工業製のプログラマブルペンレコーダモデル HR 2300 型を用いた。

X 線回折装置は、理学電機製 RA-II 型を用い、

*材料開発部



更に走査型電子顕微鏡 (SEM 像) の撮影には日立製作所製走査型電子顕微鏡 S 4 0 5 T 型を用いた。

### 2.2 実験材料

実験材料は、県内産消石灰及び炭酸ガス (純度 99.5%) を用いた。

### 2.3 実験操作

恒温槽中に入れて所定の温度に保たれた 1000 ml のビーカーに 800ml の蒸留水と 80g の水酸化カルシウム (消石灰) を入れてよくかく拌し、石灰乳を調製する。直ちに炭酸ガスを導入し、記録計にて導電率と温度を自動記録した。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.3 軽質炭カルの合成

石灰乳に炭酸ガスを導入して軽質炭カルを合成

表 1 合成品の X 線回折強度 (CPS)

温度(°C)	CO ₂ 流量 (ml/min)	アラゴナイト	カルサイト
15	250	0	2884
15	500	50	2722
15	750	0	2611
15	900	0	2555
20	250	0	2984
20	500	0	2633
20	750	0	2836
20	900	0	2769
25	250	821	1471
25	500	102	3235
25	750	0	3106
25	900	0	2892
30	250	890	1198
30	500	863	709
30	750	632	1156
30	900	556	1429
35	250	1072	851
35	500	818	1470
35	750	937	873
35	900	591	1938
40	250	992	800
40	500	962	829
40	750	724	1215
40	900	649	1407

したときのアラゴナイト及びカルサイトの主ピークの X 線回折強度を表 1 に示した。これによればアラゴナイトは、液温が 20°C 以下でほとんど生成しないことがわかる。25°C で炭酸ガス流量が少ない 250ml/min と 500ml/min のときアラゴナイトが若干生成する。アラゴナイトが多くできているのは液温 35°C で、炭酸ガス流量 250ml/min のとき 1072cps でカルサイトの 851cps を上回っている。アラゴナイトが多く生成するのは、高温度で炭酸ガス流量が少ない条件のときといえる。ほかにアラゴナイトが上回っているのは 40°C で炭酸ガス流量 250 ml/min と 500ml/min のときと、液温 30°C で炭酸ガス流量 500ml/min のときである。30°C 前後の生成物の X 線回折強度を比較してみると表 2 のとおりである。これによると石灰乳温度 35°C のときが最もアラゴナイト生成量が多い。この電子顕微鏡写真を図 1 に示す。これによるとアラゴナイトの柱状結晶がイガ栗状になっているのがわかる。また、これを X 線回折グラフにとった結果図 2 (反応温度 35°C) 及び図 3 (反応温度 25°C) のとおりとなった。すなわち図 2 によるとアラゴナイトの主ピークがカルサイトの主ピークより高くなっているが、図 3 ではこれが逆転していることがわかる。

表 3 に炭酸ガス吹き込みから炭カル合成の終わるまで (導電率が最小の値となるまで) の反応時間を示す。各液温度で吹き込み量が少ない (250 ml/min) 方が反応時間が長くなり 35°C で 370 分もかかる。また表 1 と表 3 の比較から反応時間が長い程アラゴナイトが多い (X 線回折強度が最も大

表 2 石灰乳液温度と生成品の X 線回折強度

液温(°C)	CO ₂ 流速 (ml/min)	アラゴナイト (CPS)	カルサイト (CPS)
28	250	864	1196
30	250	890	1198
33	250	1040	1082
35	250	1072	851
38	250	975	1032
40	250	992	800

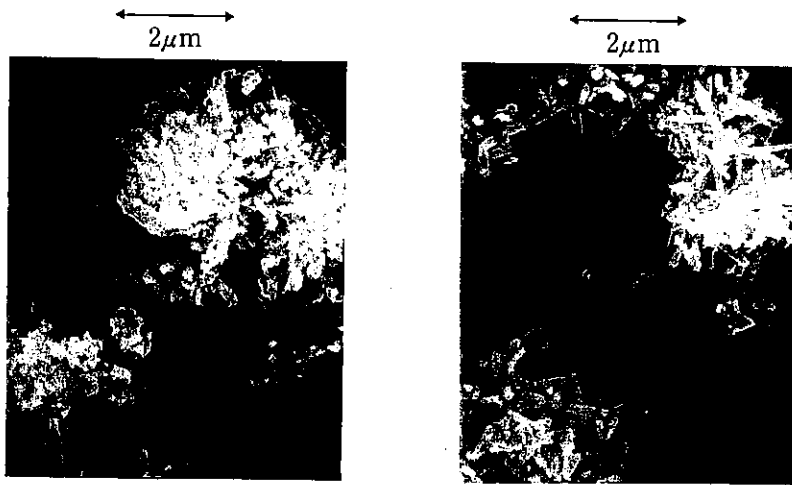


図1. a SEM 像

図1. b SEM 像

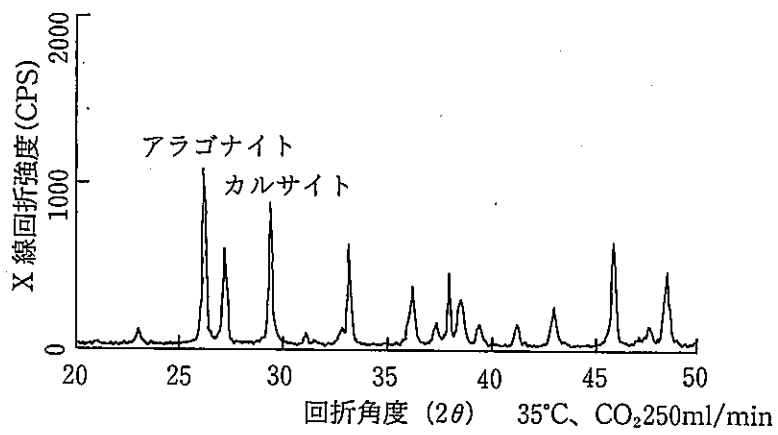


図2 X 線回折図

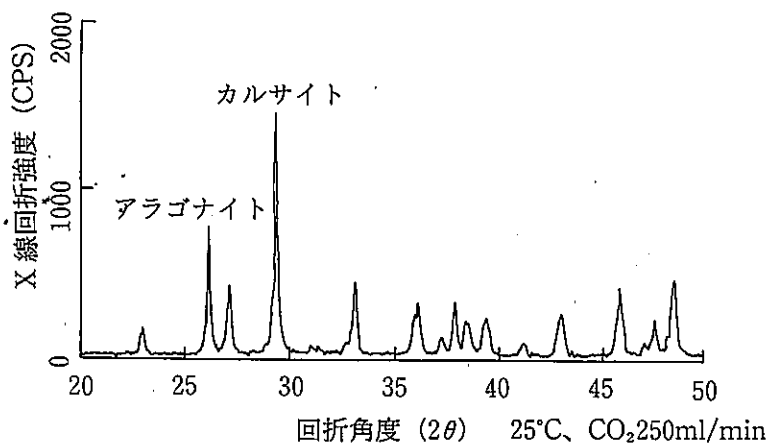


図3 X 線回折図

表3 反応時間(CO₂ガス吹き込みから炭酸カルシウム合成の終るまで)

液温 CO ₂ 流量 (°C)	250 (ml/min) (分)	500 (ml/min) (分)	750 (ml/min) (分)	900 (ml/min) (分)
15	270	185	125	120
20	255	120	115	120
25	300	155	95	75
30	250	130	90	80
35	370	180	105	120
40	300	180	125	100

きい) こともわかった。

#### 4. 結 論

炭酸化の所要反応時間は、石灰乳濃度10%で液量800ml のとき炭酸ガス流量が多い方が短く900 ml/min でほぼ平衡に達し、これより多く吹き込んでもあまり短くならないと考えられる。また、各温度におけるアラゴナイト生成量とカルサイト

生成量を比較すると、炭酸ガス流量が250ml/min と小さい方が、X線回折強度でアラゴナイトが大きくなっている。特に、液温35°Cではカルサイト851cps に対して、アラゴナイトが1072cps となりアラゴナイトが最も多く検出された。また、走査型電子顕微鏡写真(SEM像)を見ると柱状のアラゴナイト結晶が多くみられた。柱状又はイガ栗状アラゴナイトが製紙関係のワイヤーの摩耗が少なく、また内てん用にはパルプ繊維に固定され易くするため柱状が良いと考えられているので、液温35°Cで、炭酸ガス流量250ml/min のときが最も良いことがわかった。

#### 参 考 文 献

- 1) 山田英夫、原尚道、"Ca(OH)₂-H₂O-CO₂系反応によるコロイド状炭酸カルシウムの生成過程" 石膏と石灰 No. 194 (1985)
- 2) 笠井順一、"無機フィラーとしての炭酸カルシウム" 石膏と石灰 No. 198 (1985)

# ジルコニア又はアルミナーニッケル系傾斜機能材料の作製

## — セラミックス—金属複合材料に関する研究—

本田悠紀雄・納 崙 克 也・坂 田 一 成

### Preparation of $ZrO_2$ or $Al_2O_3$ -Ni Functionally Gradient Material

#### — Studies on Ceramics-Metal Composites —

Yukio HONDA Katsuya NOUZAKI Issei SAKATA

近年、セラミックスは窯業、電子部品、機械金属工業等の分野で広く用いられている。しかし、物理的及び熱的衝撃に弱く使用条件が限定される。この欠点を補うため複数の材料の持つ長所を組み合わせた複合化が図られている。特に、セラミックスに各種の材料の組成を傾斜させた傾斜機能材料に関する研究開発は、セラミックスの用途を飛躍的に拡大すると言われている¹⁾。

本研究では、ジルコニア又はアルミナにニッケルを傾斜させ複合材を作製するための基礎的な条件について検討した結果、次のようなことが判明した。1) 焼結時ニッケル粒子が偏析し集合体を形成する。2) ジルコニア又はアルミナ：ニッケルの比率が20：80の場合ポーラスで最も収縮率が小さい。3) 積層させ常圧で焼結した場合クラックが発生したが、これはジルコニア（アルミナ）とニッケルの親和性、成形体の密度の分布、焼結条件等が考えられ今後の検討課題である。

#### 1. はじめに

セラミックスと金属から構成される材料にとって最大の問題は界面の存在である。この界面における熱膨脹等の物性値の差が、材料の製造方法や使用環境を制約するケースが多い。つまり、材料製造時の温度変化や使用時の大きな温度落差は、材料内部に過大な熱応力を生じ多くの場合材料の破壊につながる。このような熱応力を抑制することが傾斜材料を開発する上で重要なポイントとなる。一方、エレクトロニクス機器は、小型軽量化、高密度化が進められている。傾斜組成制御技術を利用することで、より高精度な製品の作製が可能であり、電子部品以外の分野でも広範囲に応用することが可能であると言われている¹⁾。

これらのことから、本研究ではジルコニア ( $ZrO_2 \cdot 8\text{mol}\%Y_2O_3$ ) とニッケルおよびアルミナ

とニッケルを用い、傾斜材料の基本的な作製法に関する諸条件について検討した。

#### 2. 実験方法

##### 2.1 傾斜材料の作製法

傾斜材料の作製は通常セラミックス製造方法を用いた。製造工程を図1に示す。以下、工程順に記述する。

出発原料となるジルコニア、イットリア、アルミナは昭和電工社製で、ニッケルは関東化学 KK 製ニッケル粉末99%のものを用い、ジルコニア又はアルミナとニッケルの組成を変化させ重量比10～90%になるように混合した。

混合は所定の比率でひょう量した試料に、アルコールを加え直径10mmのジルコニアボールと共に2時間ポットミルで混合した。混合物は乾燥後φ31mmの金型を用い49MPaで加圧成形し、

図3のようにセットし1400~1440°C、5時間かけ常圧焼結してテストピースを作製した。焼結は図3のカーボンブラックの量を変化させ、アルミナルツボ中の雰囲気を変えて行った。また、窒素ガス雰囲気中で焼結しニッケルの動向についても検討した。

## 2.2 鉍物組成および表面分析

試作したジルコニア又はアルミナーニッケル系複合材料は表面を研削した。鉍物組成の同定には理学社製 X線回折装置 RAD-II A を用いた。また、表面分析は日本電子社製 X線マイクロアナライザー (EPMA) JXW-733を用い、SEM (走査型

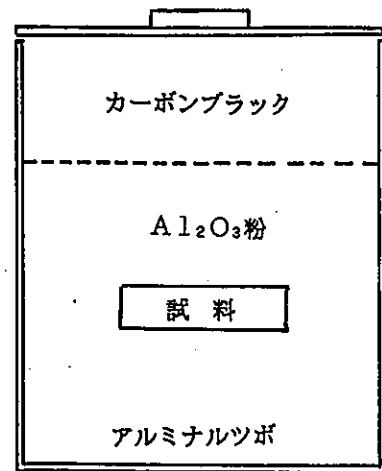


図3 試料のセッティング法

電子顕微鏡) 像、COMPO (組成) 像、X線像、ライン分析を行った。

## 2.3 収縮率および密度

収縮率はジルコニア又はアルミナとニッケルを所定量混合したものを個別に成形し、焼結前後の線収縮から求めた。また、密度は同様にして作製した焼結体の表面を研削した後、体積と質量から求めた。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 Al₂O₃-Ni系

#### 3.1.1 鉍物組成および表面分析

図3のカーボンブラックは焼結中炉内の酸素で消費される。このためニッケルの酸化を防止するために十分な量のカーボンを確保する必要がある。そこで、アルミナルツボ中のカーボン量を変化させ、アルミナとニッケルを6:4の割合で混合し、焼結したものの鉍物組成を図4に示す。図4からカーボンを全く使用しないものは、ニッケルが完全に酸化され酸化ニッケルおよびアルミン酸ニッケルに変化した。カーボン3gでは表面は酸化されるが、内部はわずかにニッケルが酸化される程度であり、5gおよび窒素ガス雰囲気では、ニッケルの酸化は見られない。

またSEM像(図5)から焼結体はポーラスで十分に密化していないことを示すと共に、COMPO像(図5)からニッケルの周辺部にアルミニウムが集まり、アルミナとニッケルは偏析して存在することを示す。この現象はジルコニア-ニッケル

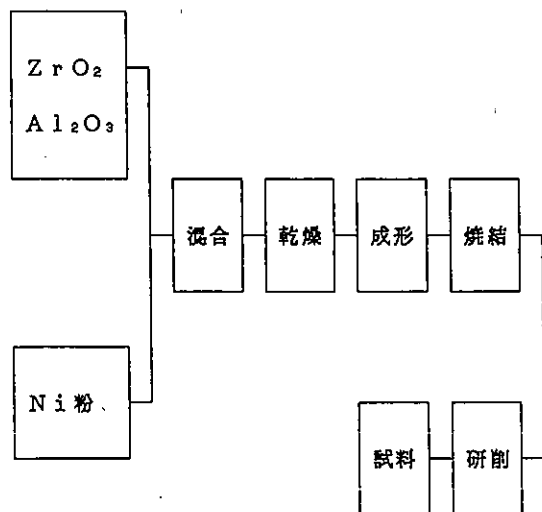


図1 製造工程図

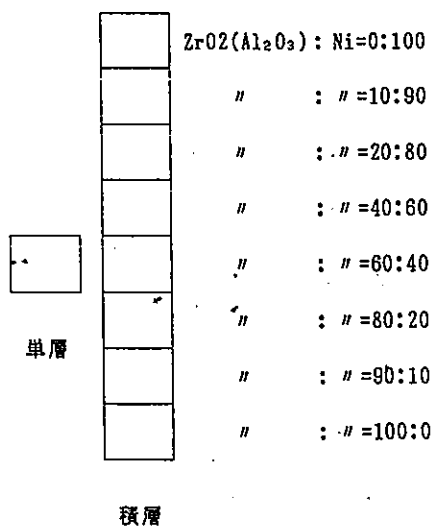


図2 試料

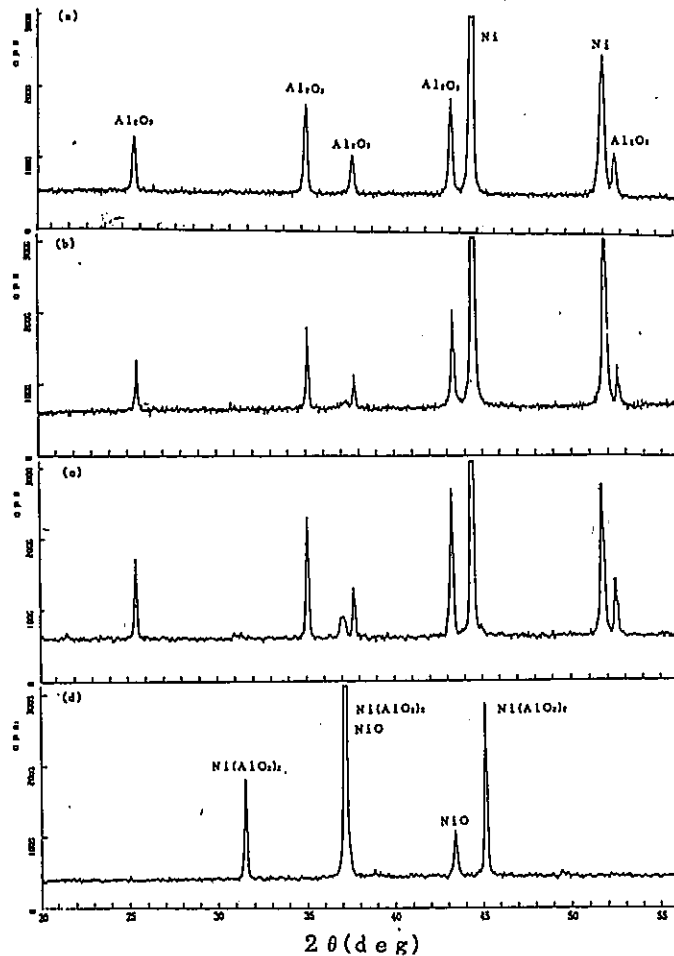


図4 X線回折図

CuK $\alpha$  30kV 20mA NiFil  
 (a) N₂雰囲気 (b)カーボン 5g  
 (c)カーボン 3g (d)カーボン 0g

系でも同様の傾向を示すことから、その項で詳しく述べる

### 3.1.2 収縮および密度

図6、7にアルミナの比率と収縮率および密度の関係を示す。図6から収縮率は、ニッケルが多くなる程小さくなるがニッケル100%では逆に最大となった。なお、ニッケル100%の試料についてはやや溶融し、成形時の原形を完全な形で保持していないため、数点測定し平均的な値とした。

一方、密度は図7からアルミナおよびニッケル100%が理論密度に近く、ニッケルが多くなるに従って理論密度より小さく、アルミナ：ニッケル=20：80で最小となり約60%まで低下した。

このことはアルミナとニッケルの親和性が悪く、両者を傾斜化させる場合変形することを示し、常

圧焼結ではクラックの要因が存在することを示している。

### 3.1.3 積層試料の試作

図2の試料を所定の温度で焼結した結果を図8に示す。図8からニッケルの比率を変化させ層状に積層させた試料では、ニッケル20%と40%の層でクラックが発生し、更にニッケル100%の層が剥離した。この原因は前項で示したようにアルミナとニッケルの親和性の外に、焼結雰囲気、成形体の中心部と周囲の密度の差、焼結途上における試料の表面と内部の温度差等に起因すること等が考えられ、今後詳しく検討する必要がある。

## 3.2 ZrO₂-Ni系

### 3.2.1 鋳物組成

ジルコニアとニッケルを4：6に配合し、図3の

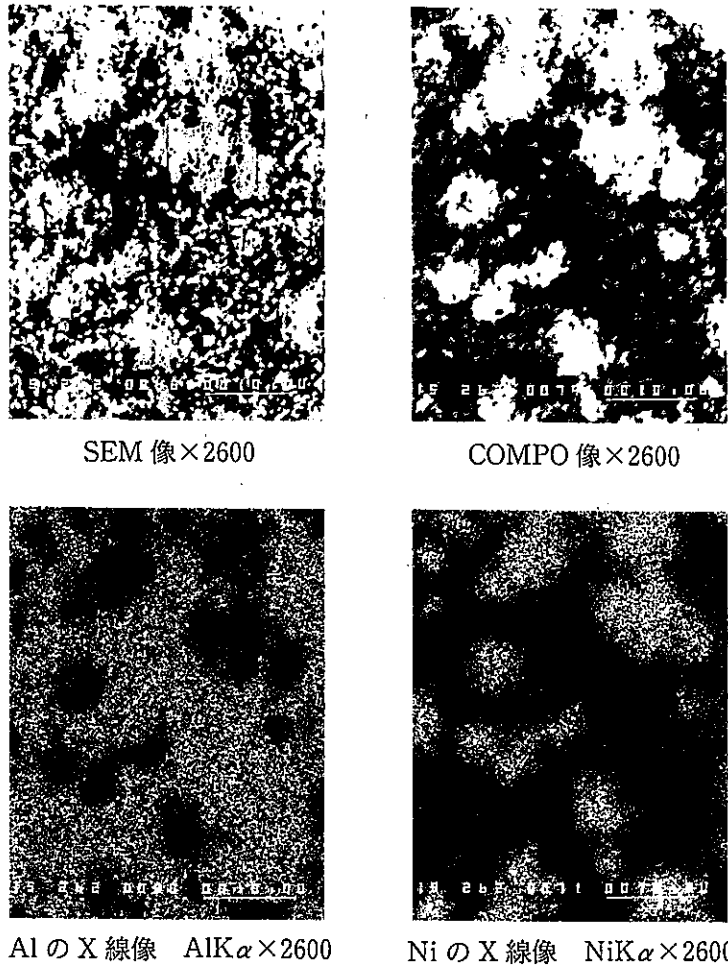


図5 SEM 像、COMPO 像および X 線像  
COMPO 像  
 $Al_2O_3 ; Ni = 6 : 4$

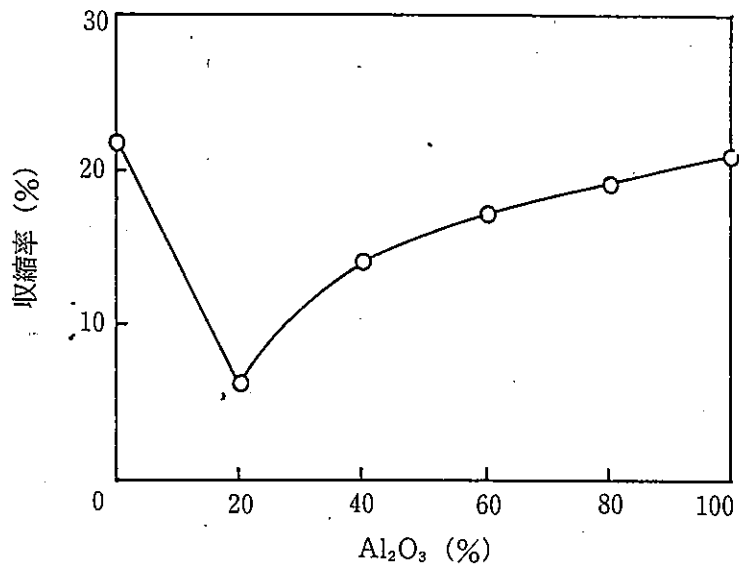


図6 アルミナの比率と収縮の関係

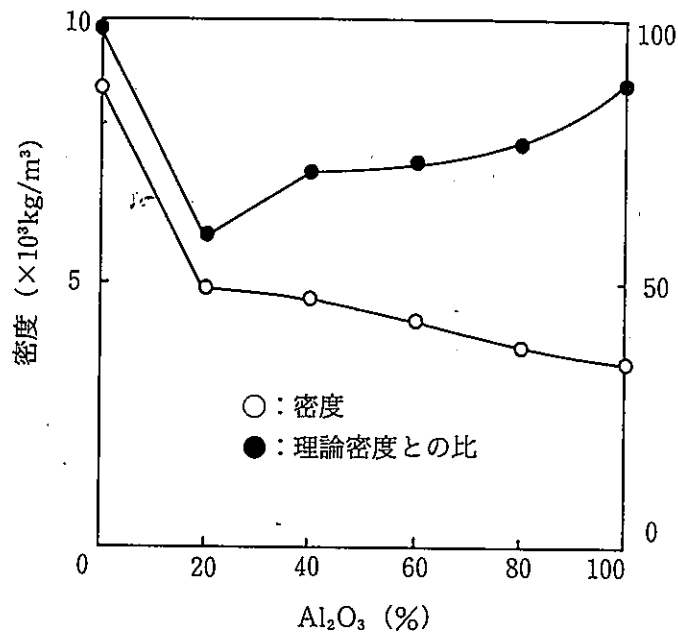
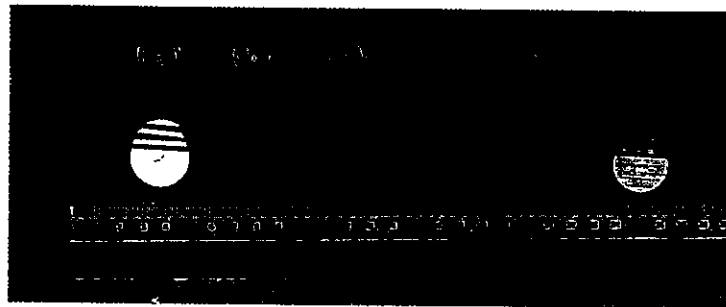
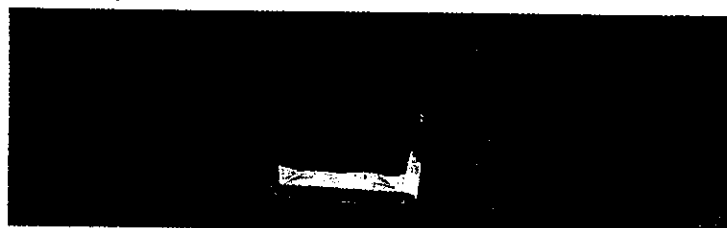


図7 アルミナの比率と密度の関係



単層試料

- (a) Al₂O₃ : Ni = 100 : 0
- (b) Al₂O₃ : Ni = 80 : 20
- (c) Al₂O₃ : Ni = 60 : 40
- (d) Al₂O₃ : Ni = 40 : 60
- (e) Al₂O₃ : Ni = 20 : 80
- (f) Al₂O₃ : Ni = 0 : 100



積層試料

図8 AlO-Ni系傾斜機能材料



アルミナルツボ中にカーボンブラックを3g入れ所定の温度で焼結した後、表面から0.4mm、0.6mmと段階的に研削したものの鉱物組成を図9に示す。

回折ピーク(2θ)の31°および35°付近に現れる回折ピークは、酸化ジルコニウムの(111)、(200)に相当し、37°および43°付近のピークは酸化ニッケルの(111)、(200)、44~45°の間に現れるピークはニッケルの(111)の各結晶面に相当する。その他の比率の試料についても同様の結果が得られた。

また、深さ方向については表面から0.4mm研削した場合、酸化ニッケルの結晶面である(111)、(200)のピークが見られるが、0.6mmの

深さになると37~38°で検出されていた酸化ニッケルの(111)に相当するピークがほとんど検出されなくなった。その反面、研削前ではわずかししか検出されていなかったニッケルのピークが研削後、急激に高くなっているのが見られた。

### 3.2.2 X線マイクロアナライザー分析

単層表面のSEM像、COMPO像、X線像を図10に示す。

SEM像から焼結体は空孔が多く、ち密化していないことがわかる。また、同一面におけるCOMPO像、X線像からジルコニウムとニッケルが偏析して存在していることを示す。

このことから、ジルコニアとニッケルは焼結後

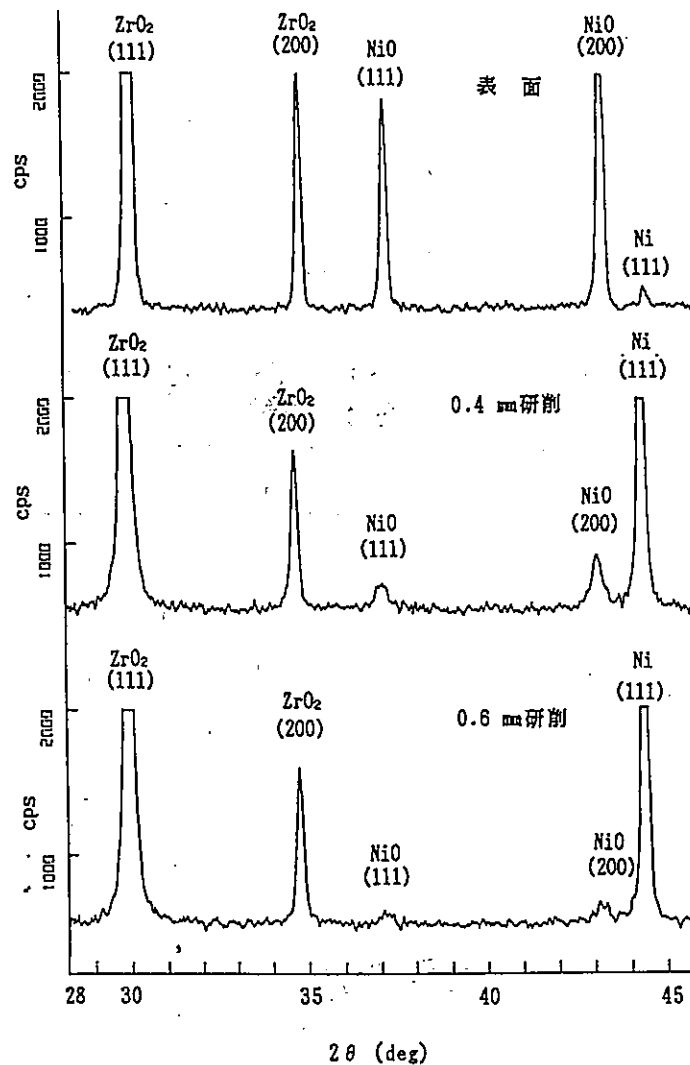
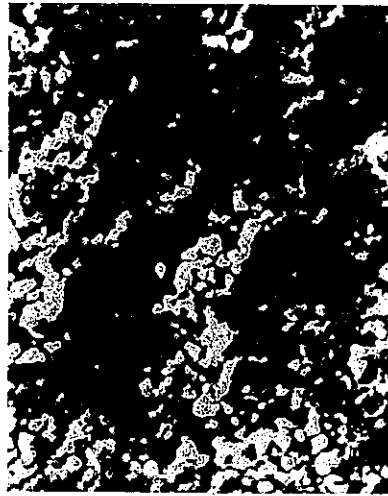


図9 X線回折図

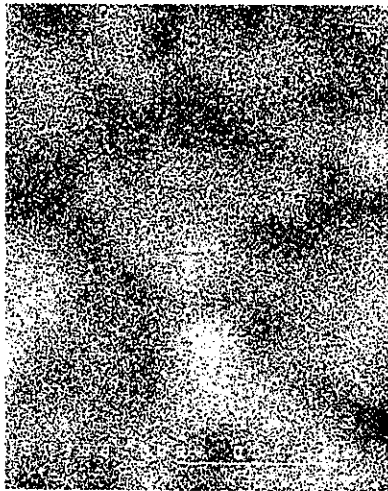
CuKα 30kV 20mA NiFil



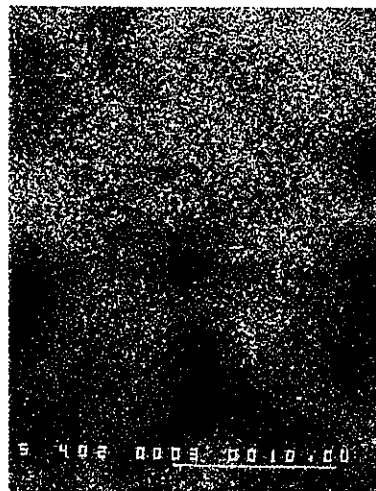
SEM 像 ×4000



COMPO 像 ×4000



Zr の X 線像 ZrL $\alpha$  ×4000



Ni の X 線像 NiK $\alpha$  ×4000

図10 SEM 像、COMP 像および X 線像  
ZrO₂ : Ni = 4 : 6

バランスよく存在せず、特にニッケルは焼結することによって粒子が移動し集合体を形成する傾向が見られる。

### 3.2.3 積層試料

ジルコニア100%とジルコニア90%：ニッケル10%を積層した試料の断面について、X線マイクロアナライザーで分析を行った結果を図11に示す。ライン分析ではニッケルのK $\alpha$ 線の振幅が大きくライン上に均一に存在しないことがわかる。また、X線像からもニッケルが固まって点在していることがわかる。これからも単層の時と同じようにニッケルが偏析して存在し層内での均一性が悪いことを示している。

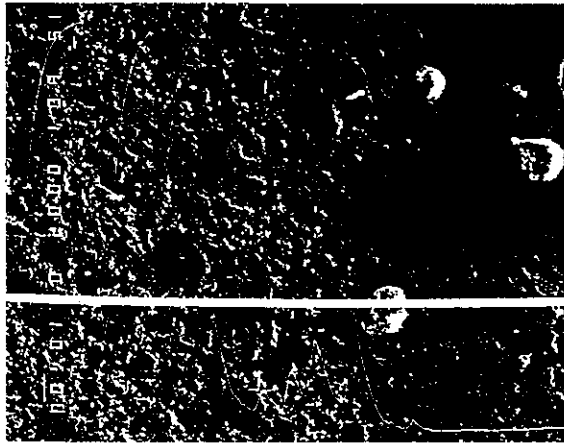
### 3.2.4 収縮率および密度

配合比と収縮率および密度の関係を図12、13に示す。収縮率はニッケルが多くなるほど小さくなるが、ニッケル100%ではジルコニア100%とほぼ同じになった。

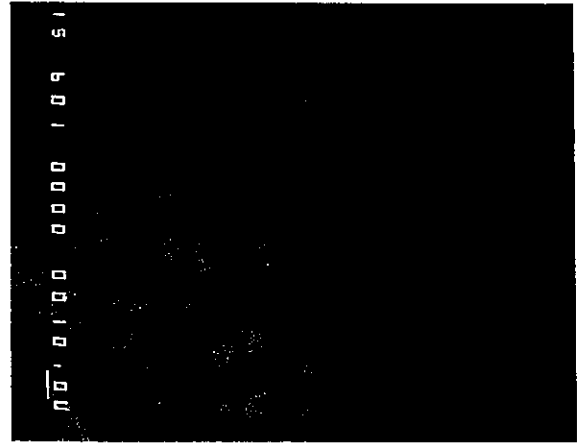
一方密度は、ジルコニア100%は理論密度に近く、ニッケルが多くなるほど小さくなりジルコニア：ニッケル=20：80では約82%まで低下した。

このことは、ジルコニアとニッケルの親和性が悪く、両者を傾斜化し焼結する場合アルミナーニッケル系同様変形、クラック、剝離の要因が存在することを示している。

ジルコニア又はアルミナとニッケルの親和性を



NiK $\alpha$  によるライン分析



NiK $\alpha$  による X 線分析

図11 界面付近の NiK $\alpha$  によるライン分析および X 線分析

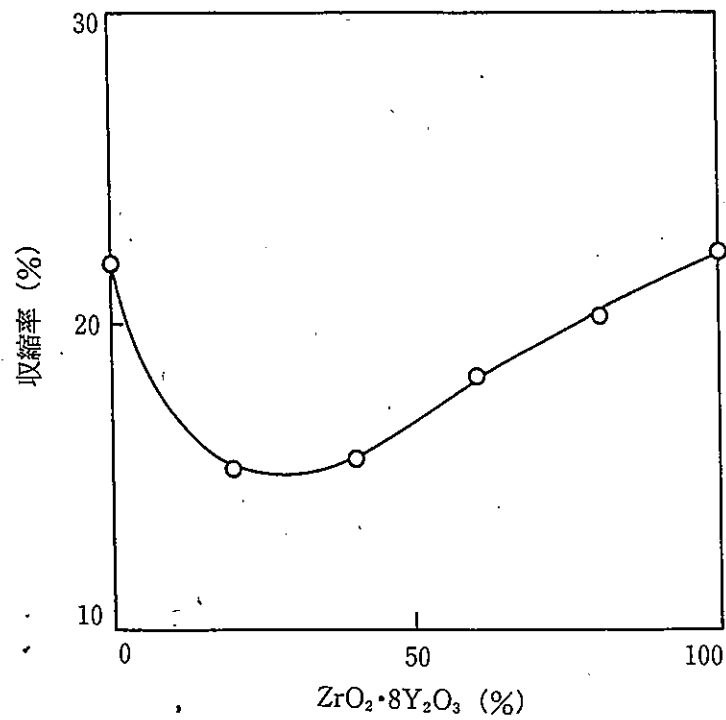


図12 ジルコニアの比率と収縮率の関係

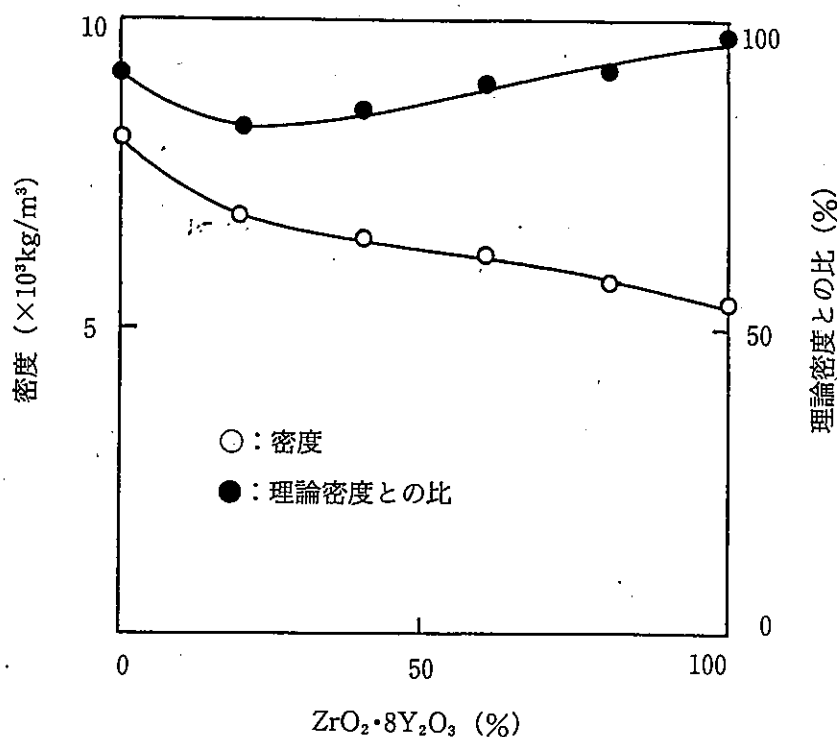


図13 ジルコニアの比率と密度の関係

改善し、焼成収縮を均一化することについては今後検討する。

#### 4. ま と め

アルミナ又はジルコニア-ニッケル系傾斜材料を作製するための基本的な事項について検討した結果、次のようなことが判明した。

- 1) 低酸素雰囲気中で試験片を焼結させた場合表面付近には酸化ニッケルが存在するが0.6mm程度内部には酸化ニッケルはあまり見られなくなる。
- 2) ニッケルの酸化を防止するためには、還元あるいは窒素ガス雰囲気を必要とするが、これらのガスがニッケルの焼結に及ぼす影響を考慮する必要がある。
- 3) 焼結時ニッケル粒子が偏析しニッケルの集合

体を形成する。

- 4) ジルコニア又はアルミナ：ニッケルの比率が20：80の場合最も焼成収縮率が小さい。
- 5) ジルコニア又はアルミナとニッケルは混合の割合により収縮に差が生じ、常圧での焼結ではそれがクラックや剝離あるいは変形の原因になる。
- 6) 積層化させた場合クラックが発生するが、これはジルコニア又はアルミナとニッケルの親和性、成形体の密度の分布、焼結条件等が考えられ今後詳しく検討する。

#### 参 考 文 献

- 1) 三菱総合研究所：複素化による機能発現と熱応力緩和のための基礎技術に関する調査報告書、1988

# 農業分野における開発要望課題調査

## — ハイテク農業技術の開発研究 —

井戸 泰男*・石水 泰夫*・出納 正道*  
坂本 博宣*・河野 敏謙*・東家 節生*  
坂井 定義**・奥田 剛士**

Investigation of Subjects Demanded to Develop in Various Department  
of Agriculture

— Studies on Applying Industrial Technology to Agricultural Field —

Yasuo IDO*・Yasuo ISIGÔRI*・Masamiti SUITÔ*・Hironobu SAKAMOTO*  
Tosinori KAWANO*・Setuo TÔYA*・Yasuyosi SAKAI** and Takesi OKUDA**

本研究開発は、熊本県農業研究センター（以下「農研センター」と略す）、熊本県工業技術センター（以下「当センター」と略す）の共同研究であり、工業技術を農業分野に導入することにより、機械化・装置化を推進し、快適で生産性の高い新しい農業の生産体制の構築に資することを目的としている。

本年度の目標は、現状を知り開発課題を決定することであるため、聞き取りによるニーズ調査を行い、本県農業の各部門における開発要望課題を抽出した。調査対象機関は、農研センター傘下の農産園芸、畜産、い業、茶業、果樹の5研究所、及び農家の実情に詳しい熊本県農政部経営普及課農業専門技術員室とした。

各部門から出された開発要望課題は、作物8、野菜9、花1、蚕業2、病虫害2、茶業3、畜産9、い業5、果樹11の計50課題に上った。内容は機械・装置の開発が大半を占め、その目的は省力化、性能向上、品質向上に関するものが上位を占めた。農研センターにおいて50課題の中から生産量の比較的少ない蚕業と花きを除く各部門から1課題の7課題に絞り込み、更に農研センター、当センターの所長等で構成する共同研究推進会議において総合的に検討した結果、「園芸用ハウスのビニール張り装置の開発」に取り組むことに決定した。

### 1. はじめに

近年の農業を取り巻く環境は、対外的には農産物自由化の要求、国内的には農業人口の減少、急

速な高齢化の進展など非常に厳しいものがある。¹⁾

本県の農業を平成2年度の熊本県勢要覧²⁾でみると農業粗生産額は全国5位、農業人口は全国7位と農業県であるが、農業人口の減少や高齢化は全国平均を上回るなど更に厳しく、抜本的対応が迫られている。そのためには、今後農地の大規模

*生産技術部

**熊本県農業研究センター

化、農作業の機械化・装置化、バイオテクノロジーの活用、福祉厚生施設の充実等あらゆる方面からのアプローチが必要であろう。

本研究開発は、本県農業の各部門で要望の高い開発課題に対して、工業技術を導入することにより省力化、省人化を推進し、重労働である農作業から開放し、また、農業人口の減少と高齢化に機械化・装置化で対応しようとするものであり、快適で生産性の高い新しい農業生産体制の構築に資することを目的に実施するものである。

本年度の目標は、本県農業の現状と問題点を把握し、次年度から取り組む開発課題を決定することであるため、農業の各部門にわたり聞き取り調査を実施し、要望課題を抽出した。

## 2. 調査対象機関、方法、部門、期間

### (1) 調査対象機関

- ア. 県農政部経営普及課農業専門技術員室
- イ. 農研センター農産園芸研究所（菊池郡合志町）  
作物部、野菜品種部、野菜栽培・特産部、蚕業部、病虫害部、農業工学部
- ウ. 同センター畜産研究所（菊池郡合志町）  
大家畜部、中小家畜部、飼料生産利用部
- エ. 同センターい業研究所（八代郡鏡町）
- オ. 同センター果樹研究所（下益城郡松橋町）
- カ. 同センター茶業研究所（上益城郡御船町）

### (2) 調査方法

- ア. 農研センターの各研究所  
各機関を訪問し、機関長及び各専門部の部長及び職員に面接し、聞き取り調査を実施した。
- イ. 農政部経営普及課農業専門技術員室  
農研センターにおいて各部門の専門技術員と会合をもち、聞き取り調査を実施した。

### (3) 調査部門

野菜（トマト、メロン、すいか、なす等）、普通作物（米・麦・大豆等）、畜産（牛、豚、鶏、飼料等）、い草、茶（緑茶）、果樹（みかん、柿等）、蚕業、病虫害、花き（菊、かすみ草等）

### (4) 調査期間

平成2年5月8日～6月18日

## 3. 調査結果及び考察

調査の結果、各部門から出された開発要望課題の一覧を表1に示す。本表は、各部門における課題とそれが提起されるに至った現状と問題点、また開発の目的と区分をランダムに列記している。

課題は、果樹部門が11件と最も多く、畜産、野菜がそれぞれ9件、以下作物（8件）、い草（5件）と続き総数で50件に上り、開発が要望されている課題が山積していることが明らかとなった。このように課題は多岐にわたっているが、リモートセンシングを利用した生育予測技術の開発、いちご、トマトの収穫機の開発、ハウス用長寿命ビニールの開発など、短期間では実用化が困難な課題もいくつかあった。これらを開発対象別に分類したものを図1に示す。この分類において、機械とは、単体で一定の機能を有するもの、装置とは、2種以上の機械や機器を組み合わせてシステム化し、一定の機能を発揮するものとした。また、機械、装置であっても測定、計測が目的の場合は、計測機器に、新材料、代替材料の開発は材料として分類した。これをみると、計測機器を含めた機械・装置開発の要望が46件で全体の92%を占めている。このことは、機械化・装置化することにより、(1)農作業の省力化・自動化、(2)農産物の高品質化、(3)農作物の生育及び作業環境の向上を図りたいとする期待が大きいことを示している。そのほか件数は少なかったが、新素材や代替材料の開発に関する課題が3件、化学技術（渋柿の脱渋技術の開発）に関する課題が1件あった。

図2は、開発の目的ごとに分類したものである。全件数が64件で、課題件数が50件を超えているのは、1つの課題で複数の目的を有するものがあるためである。

このなかで一番多いのが、省力化をねらったもので21件（32.8%）あり、重労働である農作業を少しでも改善したい、あるいは人手不足に機械化・装置化で対応したいとする要望が課題として現れた結果であろう。次に多いのが性能向上で15件（23.4%）であったが、これには、単に機能、精度の向上が求められているものと、既存の機械にアタッチメントを付けたり、一部を改良して、

表1 各部門における開発要望課題一覧表

部門	No.	開発要望課題	現状と問題点	開発目的 開発区分
作	1	田植機装着型多用途作業機械の開発	現在の田植機は、単能機であるがこれを改良し、アタッチメントを取り替えることにより稲の直まき、除草、農薬散布など多目的に利用できる機械の開発ができないか。	性能向上 機械
	2	リモートセンシングを利用した生育予測技術の開発	現状は人手で各地区の水稻の生育調査を行い、その集計を基に生育予測を行っているが、多くの時間と労力を要している。人工衛星を利用した生育予測ができないか。	省力化 装置
	3	湿田用コンバインの改良	一般のコンバインは湿田仕様になっていないため、湿田で使用すると走行に支障をきたすことがある。簡単な改良で、湿田でも使えるようにならないか。	性能向上 装置
	4	汎用型コンバインの改良	汎用型コンバインによる大豆収穫において、土や高水分茎の混入による汚粒が発生することがあるため改良が望まれている。	性能向上 機械
	5	現有水稻播種機の改良	現有水稻播種機を改良して、均播ができるようにならないか。	性能向上 機械
物	6	静置式乾燥機による籾水分測定方法の開発	静置式乾燥機における適正水分の測定は、人手によって一定時間ごとにサンプリングを行い乾燥具合を確かめているが、長時間になり手間がかかるため過乾燥になりやすい。簡単に水分を測定できる方法が確立できないか。	品質 省力化 計測機器
	7	ヒノヒカリ脱ぼう機の改良	平成2年度の県の奨励品種ヒノヒカリは、脱ぼうが困難であるため、他の品種に比べて脱ぼうに時間がかかる。脱ぼう機の改良により、時間の短縮が図れないか。	性能向上 機械
	8	稲登熟度簡易測定器の開発	沈んだものと浮いたものの比で登熟度をみる現在の水選法は、手間がかかる。外のやり方で、手間がかからず、水選と同様の精度で測定できる方法はないか。	省力化 計測機器

部門	No.	開発要望課題	現状と問題点	開発目的 開発区分
野	9	ハウスの複合環境制御システムの開発	温度、日射量、雨を感知し、開閉装置、換気扇、暖房装置等を単独で作動させるものは多くみられるが、作物の成長段階に応じて複合的に環境制御を行う技術はまだ確立されていない。	省力化 装置
	10	いちご、ミニトマト収穫機の開発	いちご、ミニトマトは個数も多いうえ選別収穫であり、特にいちごについては中腰で収穫するため、かなりの重労働となっている。	省力化 機械
	11	いちご定植作業機械の開発	いちごは、芽の方向性があり一定方向に植えなければならず、自動定植機の開発が難しいこともあり、現在10a 当り5,000株を人力で定植している。	省力化 機械
	12	いちご自動箱詰機の開発	鮮度保持のため、収穫後引き続き箱詰め作業を行わなければならないため、その作業は深夜までかかり大変である。等級、階級の選別機能を備えた機械の開発が望まれているが、いちごは柔らかく傷つきやすいため、機械化が難しい。	省力化 機械
	13	いちごの階級選別機の開発	現在人手で選別しているものを、機械化できれば箱詰め作業の能率化が図られる。いちごは柔らかく傷つきやすいため機械選別が難しいが、何か方法はないか。	省力化 機械
菜	14	メロン、すいかの非破壊糖度測定装置の開発	現在、糖度は傷つけるか破壊するかしなければ測定できず、高価な果物にとっては致命的である。桃等の表皮の薄いものは近赤外線を利用した測定機が開発されているが、すいか、メロン等、表皮の厚いものについてはまだ開発されていない。	品質 計測機器
	15	園芸用ハウスのビニール洗浄装置の開発	ほこり、降灰等によるビニールの汚れは、現在、ひもにつけた雑巾、たわしなどで、落としていますが、時間もかかるし重労働である。自動車の洗車機みたいな簡単な装置はできないか。	省力化 機械
	16	園芸用ハウスのビニール張り装置の開発	ハウスのビニール張り替え作業は、多くの人数を要し(平均10人位)しかも風のない朝方か夕方しか張れない。少人数で少しの風くらいなら張れる装置の開発ができないか。	省力化 装置



部門	No.	開発要望課題	現状と問題点	開発目的 開発区分
野菜	17	健康ハウスの開発	ハウスの中は、高温多湿となり作業環境も悪く健康管理上からも問題が多い。従来のハウスは、植物の生育が重点に考えられ、中で働く人のことは余り考えられていなかったが、これからは働く人のことを考えたハウスづくりが大切である。	健康管理 装置
花き	18	育苗ハウスの簡易冷房装置の開発	夏場の育苗ハウス内温度を昼間は25度、夜間は18度程度に冷やす簡易な冷房装置が開発できないか。	低コスト 省エネ 装置
蚕業	19	桑刈取り機の改良	現在はメーカーが少なく販売コスト等の制限で搬送部の故障が多い、土壌条件が悪いと走行できない、結束部位が低い等の問題がある。	性能向上 機械
	20	蚕の人工飼料切断機の開発	蚕に与える人工飼料は、蚕が小さいときは薄く切り、大きくなるとブロック状にすることが好ましいが、現在試作段階で製品化されたものがない。	性能向上 省力化 機械
病虫	21	害虫選別計数システムの開発	現状は、ほ場に設置した捕虫箱の中から、人手で害虫を選別しその数を数えているが、多いときには数千匹にもなり手数がかかる。この選別、計数を自動的に行う装置ができないか。	省力化 計測機器
	22	土壌消毒機の改良	現在の土壌消毒機は、地下せいぜい20cmまでの土壌しか消毒できない。実際は、それ以下にも土壌線虫はいるため、浅いところ、深いところ同時に消毒できる機械の開発が必要である。	性能向上 機械
茶	23	茶原葉形質の自動判別機の開発	現在は茶原葉の微妙な違い（柔らかさ、色合い）を熟練者が判別し、製茶工程の乾燥温度、時間、揉圧等を設定している。原葉形質自動判別ができれば製造工程の全自動化が可能になる。	省力化 計測機器
	24	釜いり茶炒葉機の開発	釜いり茶は、九州の特定地域で製造しているのみで、生産量も少なくいり葉機の開発も遅れている。今後熊本の特産にするためにはいりむらのない生産性の高いいり葉機の開発が望まれている。	性能向上 品質 機械

部門	No.	開発要望課題	現状と問題点	開発目的 開発区分
茶	25	茶の葉の簡易水分測定器の開発	茶の製造の各工程において、茶の葉を採取し乾燥機で乾燥し水分を求めているため、時間がかかる。	省力化 測定機器
畜	26	低価格の自走式飼料ミキサーの開発	牧草の裁断機能をもった飼料ミキサーが市販されているが高価（イタリア製、750万円/台）である。300万円程度で開発できないか。	低コスト 機 械
	27	明るくてほこりが出ない安価な断熱材の開発	現在、各種の断熱材があるが、安価なものはほこりがつきやすく、畜舎が暗くなる。アルミタンはあるが高価である。	低コスト 材 料
	28	畜舎の簡易・高効率防暑システムの開発	現在スポットエアコン、噴霧器、スプリンクラー等があるが、設備費が高く、一般の畜産農家に普及しにくい。もっと普及しやすいように安価なシステムはできないか。	低コスト 省エネ 装 置
	29	豚の簡易体重計測システムの開発	現状は、測定が大変なため標準的な1頭を測り、ほかはそれとの比較（目測）で出荷しているが、標準体重(110±8 kg)に入っていない場合がある。その場合1 kg 当り50円安くなる。	省力化 品 質 計測機器
	30	低価格の生（いき）豚脂肪厚測定器の開発	市販されている生牛用超音波肉質診断器の応用が考えられるが、高価（370万円以上）過ぎる。100万円以下で開発できないか。	低コスト 品 質 計測機器
産	31	低価格の自動給飼、除ふん装置の開発	装置自体は各種開発されているが、かなり高価であり、あまり普及していない。	低コスト 省力化 装 置
	32	鶏の血卵、肉斑卵の非破壊選別装置の開発	現状では選別できないため、血卵、肉斑卵が市場に出ている。生卵を使う事業所で嫌われるため、出荷前に選別できる機械の開発ができないか。	品 質 計測機器
	33	太陽熱利用の牧草仕上げ乾燥システムの開発	種々のシステムが試みられているが、価格、効率等の点からあまり普及していない。	低コスト 省エネ 装 置

部門	No.	開発要望課題	現状と問題点	開発目的 開発区分
畜産	34	乳牛の糞尿脱臭処理装置の開発	人吉市の酪農家で抜気式の処理装置を考案し県の農業コンクール出品、これを低価格で製品化ができないか。	公害防止 装置
	35	泥染めい草の省エネルギー乾燥システムの開発	泥染め後の高水分のい草を石油系燃料によって乾燥を行っているが、経費がかかる。石油系燃料に代わる維持費の安い乾燥システムができないか。	低コスト 省エネ 装置
草	36	い草の太さ、色調選別機の開発	現在、い草の長さ選別機はあるが、さらに色調、太さ（大、中、小）を識別できる低価格な選別機ができないか。	品質 機械
	37	い草高速自動織機の開発	現在の織機は生産性が低いうえ、操作に微妙な調整が必要である。現在の2倍位の生産性のある織機を開発できないか。	性能向上 機械
	38	い草運搬工程の省力自動化	い草の泥染め、乾燥等の機械化はかなり進んでいるが、それぞれの工程間の運搬はまだ人手に頼っている。	省力化 装置
	39	泥染め代替染土の開発	現在使用されている淡路島産の天然染土（みはら染土）はあと10年程度の埋蔵量しかない。これに代わる安価でほこりのしない染土の開発ができないか。	健康管理 品質 材料
	40	みかん収穫作業台車の開発	現状は木に登って収穫しているため、両手が自由に使えず、収穫能率が悪い。木に上らず収穫できる収穫台車の開発ができないか。	省力化 機械
果物	41	桃、梨等の簡易自動袋かけ機の開発	現状は一つ一つ手作業で行っており、袋かけ用の留め具はあるもののかなり大変な作業である。	省力化 機械
	42	簡易土壌窒素分測定器の開発	現状は、土壌を試験室に持ち込み測定しているが、時間がかかり現場向きではない。現場で簡易に測定できる測定器の開発（茶、い草部門でも同課題提案）ができないか。	性能向上 省力化 計測機器

部門	No.	開発要望課題	現状と問題点	開発目的 開発区分
果 物	43	土壌への送気装置の開発	細根の発生を助長するため根元に空気を送ることが大切であるが、現在、そのためには大がかりな設備が必要である。簡易で効果的な装置ができないか。	省力化 品質 装置
	44	ハウス用長寿命ビニールの開発	現状のハウス用ビニールは劣化するため1～2年で張り替える必要がある。そのための労力、コスト、廃ビニールの処理等負担が大きい。	性能向上 材 料
	45	みかんすあがり検出装置の開発	みかんのすあがり（中身がばさばさになる）は、むいた後でないと分からず、品質管理上問題がある。これを出荷前に非破壊で検出する装置ができないか。	品 質 計測機器
	46	甘夏みかん自動袋むき機の開発	現在のむき機では袋を上下にカットするだけで、残った両側の袋は手で取っている。両側の袋まで一緒に取ってしまう機械の開発ができないか。	性能向上 機 械
	47	渋柿の脱渋技術開発	現状は、炭酸ガスで脱渋を行っているが、変色し商品価値が低下する。変色しない脱渋方法の開発ができないか。	性能向上 品 質 化学技術
	48	みかんの非破壊糖度測定機の開発	現在開発中の測定機は、測定精度が±1度までしかでないが、実用化するには、±0.5度の精度が必要である。	品 質 計測機器
	49	簡易土壌水分測定器の開発	現在の測定器は、乾燥状態の測定では余り精度が出ない。乾燥状態の土壌（pf2.7以下）の水分を簡易に計る計器の開発が必要である。	性能向上 計測機器
	50	ハウスの異常警報装置の開発	現在、警報装置（電気が切れると警報がなる等）はあるが、価格が数十万円と高い。低価格で効果的な装置の開発が必要である。	低コスト 装 置

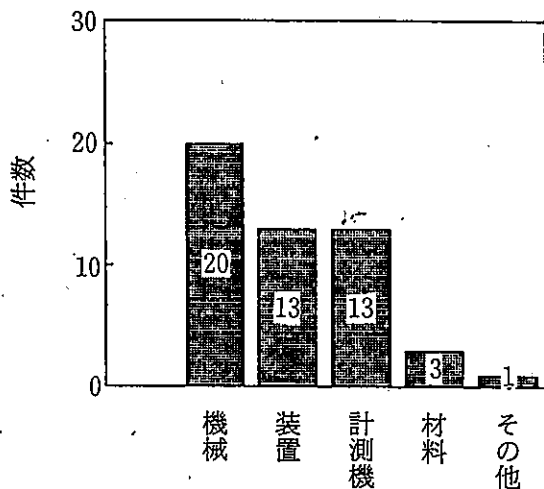


図1 開発の対象別件数

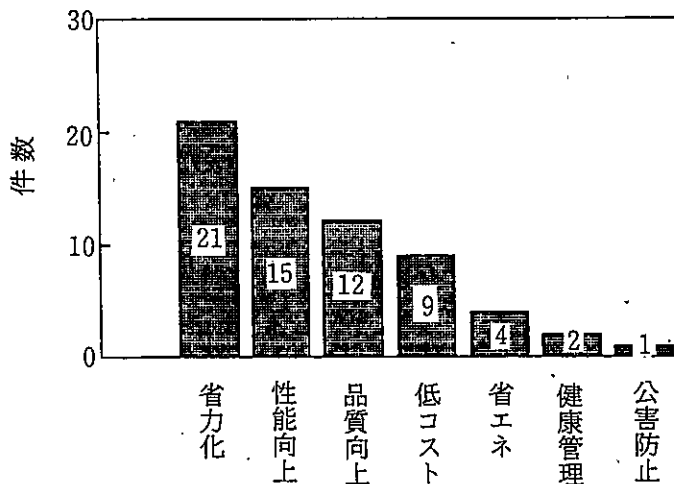


図2 開発の目的別件数

複数の機能を持たせたいとする改良、改善も含まれている。これと少し似ているのが4番目の低コスト化で、現在の技術レベルでは、コストさえかければ十分開発が可能ではあるが、農家への普及を考えると主要機能は残しながらできるだけコストを低く抑えたいとする機械・装置の開発要望が9件(14.1%)あった。また品質向上を図り付加価値を高めたいとする課題が12件(18.8%)あった。これは、最近の高級志向・ブランド志向を反映して、価格は高くてもより高品質なもの、より美味しいものが求められているため、生産者においても、高品質のものを生産する技術、また、いいものだけを出荷するための自動選別技術、計測技術が重要な課題となってきたからであろう。

そのほか、太陽エネルギーの活用など省エネに関する課題が4件、高温多湿、あるいは粉塵が発生する作業環境からの開放といった作業者の健康管理に関するものが2件、公害防止(悪臭を放つ家畜のし尿処理)に関するものが1件あった。

#### 4. 開発課題の決定とその背景

この50課題の中から、農研センターの各部門ごとに、特にニーズが高いものを選定してもらったところ、表2に示すように7課題となった。

これらについて、農研センター、当センターの所長等で構成する共同研究推進会議において、(1)本県農業の独自性が出せるもの、(2)現場の農家に直接メリットがあるもの、(3)ある程度量産化が見込めるもの、(4)一定期間内に開発ができるもの、等の観点から総合的に検討した結果、「園芸用ハウスのビニール張り装置の開発」に取り組むことに決定した。

本県における施設園芸は、生産量日本一のすいか、メロンをはじめ、トマト、いちご、花きなど多岐にわたっているが、それらのほとんどがビニールハウスで栽培されている。その設置面積は、'90農業機械年鑑によると50,633haで2位の愛知県(20,243ha)を大きく引き離し全国一である。³⁾

このビニールハウスの問題点は、ビニールに添加されている可塑剤の劣化で日光の透過率が悪くなるため、毎年ビニールを張り替えなければならないことである。この作業は、毎年10~12月にかけて、風のない晴れた日の朝方か夕方に、できるだけ短時間にしかもすべて手作業で行うため、かなりの人手を必要とする(最低でも6人、大型の連棟になると10~20人)ことから、一般に複数の

表2 各部門における優先課題

1	園芸用ハウスのビニール張り装置の開発
2	い草の太さ・色調選別機の開発
3	釜いり茶炒葉機の開発
4	畜舎の簡易・高効率防暑システムの開発
5	いちご収穫機の開発
6	害虫選別計数システムの開発
7	田植機装着型多用途作業機械の開発

農家が共同で作業を行っている。また、地区ごとにハウス組合を作って共同作業を行っているケースもある。農業人口の減少と高齢化が急速に進むなかで、一時期に多数の人手を集めることは、今後ますます困難になってくることが予想される。

こうした状況から、ビニール張り作業の機械化・装置化は、特にハウス面積が多い本県にとっては今後避けて通れない重要な課題であり、積極的な取り組みが望まれている。

### 5. おわりに

本研究開発は、昭和62年度に発足した本県の農政、衛生、林務水産、商工観光労働の各部にまたがる7試験研究機関の長で構成する熊本県試験研究機関連絡協議会の規約に定められた、機関相互の共同研究の推進に基づくもので、その第1号として農研センターと当センターが共同で、平成3年度から5年度にかけて実施するものである。共同研究を推進するに当たっては、共同研究機関の

長等で構成する共同研究推進会議を設け、そこで、取り組み課題の決定、機関ごとの役割分担、研究の進捗よく状況の把握などを行うことになっている。

最後に本調査に御協力いただいた、農研センター、並びに県農政部経営普及課の関係職員各位に対して感謝の意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) (財)熊本県農業後継者育成基金：熊本の農業、熊本県、1990、31p
- 2) 熊本県勢要覧、平成2年版、熊本県企画開発部統計調査課、平成3年3月、199p
- 3) 岸田義典：'90農業機械年鑑、東京、新農林社、1989、215p
- 4) 九州農業試験研究推進会議農産推進部会いぐさ分科会：いぐさ関係用語及び調査基準、福岡、1989、38p

# オブジェクト指向による置き換え作業のプログラミング

城戸 浩一

## Programming of Pick and Place Task by Object-Orientation

Koichi KIDO

本稿では、最初にオブジェクト指向の考え方について紹介する。次に、オブジェクト指向の考え方に基づいた問題解決方法を簡単な例題を交えながら紹介する。

オブジェクト指向とは、プログラミングにおける考え方の一つで、対象の「操作」を中心にしたこれまでの考え方とは異なり、操作の「対象」を中心にした考え方のことである。オブジェクト指向プログラミングでは、「オブジェクト」と呼ばれる処理主体に対して処理の実行要求である「メッセージ」を送ることにより処理を行う。

本稿では、例題として、マニピュレータと視覚システムを用いた簡単な置き換え作業のプログラミングを取り上げた。マニピュレータや視覚システムをオブジェクトとし、これらにメッセージを次々に送ることによって置き換え作業のプログラミングを行った。

### 1. はじめに

最近ソフトウェアの分野において、オブジェクト指向とかオブジェクト指向プログラミングといったことが注目されている。

オブジェクト指向とは、プログラミングにおける一つの考え方で、これまでの手続き型言語のような対象に対する「操作」を中心にした考え方ではなく、操作の「対象」を中心にした考え方のことである。

オブジェクト指向が注目される理由としては、現実世界に即したモデル化が行なえること、部品化が容易なこと、およびソフトウェア開発効率の向上が期待できることなどがあげられる。

本稿では、最初に、このように優れた長所を持つオブジェクト指向の考え方について紹介する。次に、オブジェクト指向の考え方に基づいた問題解決方法を簡単な例題を交えながら紹介する。

### 2. オブジェクト指向

#### 2.1 オブジェクト指向の考え方

オブジェクト指向の考え方は、「オブジェクト」に対して「メッセージ」を送ることによって処理を行うというものである。ここで、オブジェクトとは、処理を行なう主体のことである。またメッセージは、オブジェクトに対する処理の実行要求のことで、オブジェクト間における唯一のインターフェイス手段である。オブジェクトは、送られてきたメッセージに対応した振舞いをする。

オブジェクト指向の考え方は、図1に示すように、ちょうど人間の言葉が分かるようなロボットに対して人間が命令を発することに似ている。この場合、ロボットがオブジェクトで、命令がメッセージに相当する。ロボットに命令を与えると、ロボットはその意味を理解しそれに応じた行動をする。

#### 2.2 オブジェクト指向による問題解決方法

オブジェクト指向の考え方による問題解決方法

は、次のようなステップ¹⁾から構成される。

- (1) 問題について述べる。
- (2) 解法において必要なオブジェクトを同定する。
- (3) それらのオブジェクトが応答すべきメッセージを同定する。
- (4) オブジェクトへ送るメッセージ列をうまく選択して問題を解決する。

### 3. 例 題

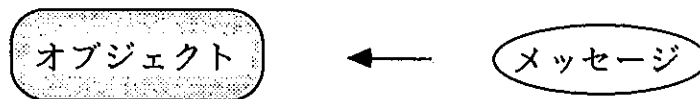
2.3で述べた方法に従って、実際に問題を解決することを試みる。ここでは例題としてマニピ

ュレータとビジョン（視覚）システムを用いた簡単なピック・アンド・プレイス（置き換え）作業のプログラミングを取り上げることにする。

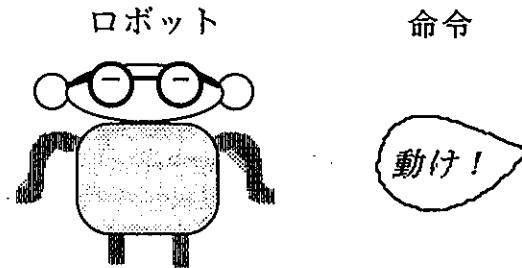
#### 3.1 問題の記述

##### 3.1.1 ピック・アンド・プレイス作業の概念

ピック・アンド・プレイス作業とは、簡単に言えば、物体をつかんで他の場所へ移動させる作業のことである。ここでは、図2に示すように、ビジョン・システムとマニピュレータを使用し、まずビジョン・システムによって対象物の位置と姿勢を求め、次にその情報を基にマニピュレータに



#### 原理



#### 例

図1 オブジェクト指向プログラミングの原理と例

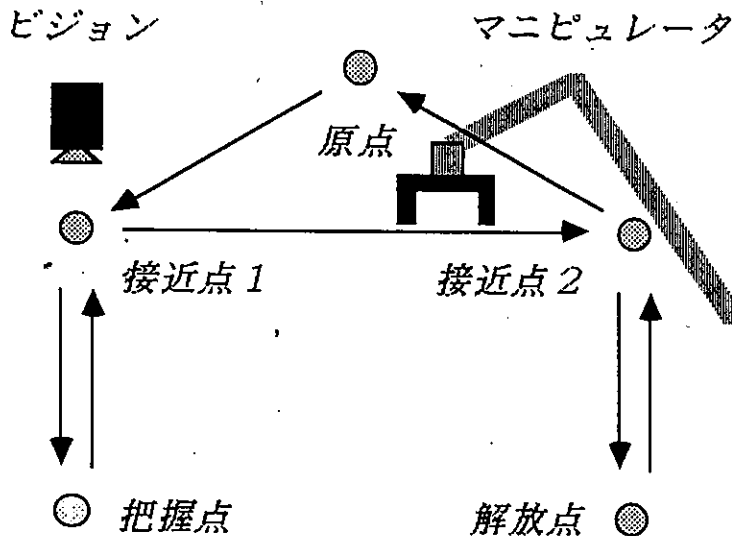


図2 ピック・アンド・プレイス作業



よって対象物をつかみ別の場所へ移動させる。ただし、この作業は1回だけ行うものとする。

### 3.1.2 ピック・アンド・プレイス作業の実現手順

ピック・アンド・プレイス作業は、次のような作業手順によって実現できる。

- (1) マニピュレータとビジョン・システムを指定の位置と姿勢に設置する。
- (2) ビジョン・システムによって対象物の把握点を求める。
- (3) マニピュレータのハンドを把握のための接近点1（あらかじめ指定されているものとする）に移動する。
- (4) マニピュレータのハンドを把握点へ動かす。
- (5) マニピュレータのグリップを閉じることによって対象物をつかむ。
- (6) マニピュレータのハンドを把握のための接近点1まで持ち上げる。

(7) マニピュレータのハンドを開放のための接近点2（あらかじめ指定されているものとする）まで移動する。

(8) マニピュレータのハンドを開放点（あらかじめ指定されているものとする）まで移動する。

(9) マニピュレータのグリップを開く。

(10) マニピュレータのハンドを開放のための接近点2まで持ち上げる。

### 3.2 オブジェクトの同定

問題の記述から、表1のようなオブジェクトが同定される。

### 3.3 メッセージの同定

表1の各オブジェクトが応答すべきメッセージを表2から表4に示す。

### 3.4 オブジェクト→メッセージ列の同定

3.2の作業手順から求められたオブジェクト→メッセージの列を図3に示す。ただし、記述方法は、Samalltalk/V²⁾の文法に準拠している。例え

表1 オブジェクトの種類

名 称	意 味
manipulator	マニピュレータ
vision	ビジョン・システム
approachingPoint1	物体把握のための接近点
approachingPoint2	物体開放のための接近点
graspingPoint	物体の把握点
releasingPoint	物体の開放点
mnpLocation	マニピュレータの設置点
vsnLocation	ビジョン・システムの設置点

表2 manipulator オブジェクトが応答すべきメッセージ

名 称	意 味
moveHandTo:	ハンドを目標の位置姿勢に動かす
openGrip	グリップを開く
closeGrip	グリップを閉じる
base:	設置位置と姿勢を設定する

表3 vision オブジェクトが応答すべきメッセージ

名 称	意 味
lookAtTarget	対象物の画像を取り込む
whereIsTarget	対象物の位置と姿勢を求める
base:	設置位置と姿勢を設定する

表 4 approachingPoint1、approachingPoint2、graspingPoint、releasingPoint、mnpLocation、vsnlocationの各オブジェクトが応答すべきメッセージ

名 称	意 味
x: y: z: a:	xyz 座標値と角度を設定する

```

mnpLocation x:-200 y:0 z:0 a:0.
vsnLocation x:200 y:0 z:300 a:-180.
approachingPoint1 x:200 y:0 z:100 a:0.
approachingPoint2 x:100 y:0 z:100 a:0.
releasingPoint x:100 y:0 z:0 a:0.
manipulator base: mnpLocation.
vision base: vsnLocation.
vision lookAtTarget.
graspingPoint := vision whereIsTarget.
manipulator
  moveHandTo: approachingPoint1;
  moveHandTo: graspingPoint;
  closeGrip;
  moveHandTo: approachingPoint1;
  moveHandTo: approachingPoint2;
  moveHandTo: releasingPoint;
  openGrip;
  moveHandTo: approachingPoint2.
    
```

図 3 同定されたオブジェクトメッセージ例 (置き換え作業のプログラム)

ば、“.”はオブジェクトメッセージの区切りを表す。“:”はパラメータを持ったメッセージを表し、“:=”はメッセージの接続 (cascade) を表す。“:=”は代入を意味する。

ここで、簡単にプログラムの意味を説明する。

最初の5行で、それぞれの点を表すオブジェクトに対して xyz 座標と角度の値の設定を行っている。

6行目と7行目では、マニピュレータとビジョンに対してそれぞれが設置される場所と角度を設定している。

8行目では、ビジョンに対して対象物の画像を取り込むように指示している。

9行目では、ビジョンに対して対象物の位置と姿勢を求めるように指示を送り、その結果を把握点としている。

10行目以降では、マニピュレータに対してハンドを移動させたりグリップを開閉させたりするようなメッセージを次々に送って、対象物の把握と移動を実現している。

#### 4. お わ り に

現実のマニピュレータやビジョン・システムは、コマンド (動作の指示) を送ることによって動作する。そのため、例題のようなマニピュレータやビジョン・システムを使った作業のプログラムは、基本的にマニピュレータやビジョン・システムなどの対象に対して各種のコマンドを次々に送っていくという構造を持つ。ところで、オブジェクト指向の考え方は、オブジェクトにメッセージを送ることによって処理が実現されていくというものである。それゆえ、オブジェクト指向の考え方とマニピュレータやビジョン・システムを使った作業のプログラムの構造とは、ある対象に動作の指示を送るという点において本質的に同じである。したがって、例題のような構造あるいは特徴を持つ問題 (例えば、自動化システムの作業プログラミングや GP-IB のプログラミングなど) に対しては、オブジェクト指向の考え方は有効であると言える。

最後に、今後の予定としては、オブジェクト指向の考え方によって実際のシステムを用いた置き換え作業のプログラミングを行うことを考えている。

#### 参 考 文 献

- 1) L. J.ビンソン、R. S.ウイナー：“Smalltalk：オブジェクト指向プログラミング”、トッパン、1990
- 2) “Smalltalk/V 入門・プログラミング・ハンドブック”、サザンパシフィック、1988

編集委員

清水 一男

中村 哲男

湯之上雅子

高橋 孝誠

永山 賛平

上田 直行

---

熊本県工業技術センター研究報告 第29号

編集 熊本県工業技術センター編集委員会

発行所 熊本県工業技術センター

〒862 熊本市東町3-11

TEL096-368-2101

印刷所 (資)下田印刷熊本支店

〒860 熊本市南熊本3丁目1-3

TEL096-362-7171

---